

Univerzita Karlova v Praze

Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

Studijní program: informační studia a knihovnictví

Studijní obor: informační studia a knihovnictví

Diplomová práce

Bc. Iva Hostičková

Vývoj paradigmat výzkumu umělé inteligence

Evolution of Artificial Intelligence Research Paradigms

Praha 2014

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Oponent diplomové práce:

Datum obhajoby:

Hodnocení:

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, že jsem řádně citovala všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, dne 25. července 2014

.....

podpis diplomanta

Identifikační záznam

HOSTIČKOVÁ, Iva. *Vývoj paradigmat výzkumu umělé inteligence [Evolution of Artificial Intelligence Research Paradigms]*. Praha, 2014. 107 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, Ústav informačních studií a knihovnictví. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Abstrakt

Cílem práce je popsat vývoj ve výzkumu umělé inteligence z hlediska změn paradigmatu a analyzovat současné tendence. Práce zařazuje pojem paradigma do kontextu teorie vědy a ozřejmuje, jakým způsobem je v této práci užíván. Dále práce charakterizuje umělou inteligenci a její vybrané oblasti. Zabývá se charakteristikou základních paradigmat umělé inteligence - symbolického a konekcionistického paradigmatu, nových přístupů a zachycuje jejich vznik a důležité etapy v dalším vývoji. Analyzuje důvody, které stály za tímto vývojem. Kromě otázek vývoje techniky hrála vždy velkou roli finanční podpora výzkumu. Na závěr práce jsou rovněž analyzovány důvody rozvoje současné umělé inteligence, obavy s ním spojené a aktuální trendy výzkumu.

Abstract (in English):

The purpose of this thesis is to describe developments of research in the field of artificial intelligence, from the point of view reflecting changes in current paradigms, and to analyze contemporary tendencies. This thesis systemically places the paradigm term into contexts of theoretical sciences and it explains in what way the term is being used. Further, the thesis describes artificial intelligence and several selected components. The thesis researches the basic paradigms of artificial intelligence - the symbolic and connectionistic paradigm, and is also researching new approaches and analyzing their beginnings and important development periods. The thesis analyzes reasons that were behind these developments. In addition to questions related to technical developments, financial support of selected research played an important role. The closing part of the thesis also analyzes reasons of current artificial intelligence expansion, worries connected to this expansion, and current research trends.

Klíčová slova

umělá inteligence, paradigma, neuronové sítě, konekcionismus, symbolické paradigma, strojové učení

Keywords (in English):

artificial intelligence, paradigm, neural networks, connectionism, symbolic paradigm, machine learning

OBSAH

	PŘEDMLUVA.....	9
1	ÚVOD.....	10
2	PARADIGMA VE VĚDĚ.....	12
2.1	Struktura vědeckých revolucí Thomase Kuhna	12
2.2	Kritika Thomase Kuhna a ostatní pohledy na paradigmat vědy	15
2.2.1	Pozitivismus.....	15
2.2.2	Filozofie vědy ve 20. století a přijetí koexistence paradigmat	15
3	UMĚLÁ INTELIGENCE, JEJÍ CHARAKTERISTIKA A HISTORIE.....	19
3.1	Definice umělé inteligence	19
3.2	Historie umělé inteligence	20
3.2.1	Předchůdci výzkumu umělé inteligence	20
3.2.2	Vznik moderního oboru umělá inteligence.....	21
3.2.3	Zklamání po Darmouthské konferenci a další vývoj.....	22
4	CHARAKTERISTIKA NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH OBLASTÍ UMĚLÉ INTELIGENCE	24
4.1	Řešení úloh.....	24
4.2	Práce se znalostmi.....	24
4.2.1	Expertní systémy.....	25
4.2.2	Reprezentace znalostí	27
4.2.3	Ontologie	27
4.3	Neuronové sítě.....	29
4.4	Fuzzy logika.....	30
4.5	Distribuovaná umělá inteligence	31
4.6	Robotika.....	32
4.7	Evoluční algoritmy.....	33
5	VÝVOJ PARADIGMAT UMĚLÉ INTELIGENCE.....	35
5.1	AI efekt.....	36
5.2	AI winter	36
5.3	Hype křivka technologického vývoje	37
5.4	Základní rozdělení umělé inteligence.....	38

5.5	Symbolické paradigma	41
5.5.1	Předchůdci symbolického paradigmatu	41
5.5.2	Alan Turing	42
5.5.3	Kybernetika	44
5.5.4	Logic Theorist	45
5.5.5	Darmouthská konference	46
5.5.6	Raná očekávání	49
5.6	Konekcionistické paradigma	51
5.6.1	Inspirace biologií před vznikem umělé inteligence	51
5.6.2	Vznik neuronových sítí	53
5.7	Krise konekcionistického paradigmatu	56
5.8	Vzestup symbolického paradigmatu	58
5.8.1	Kognitivní přístup na Univerzitě Carnegie Mellon	59
5.8.2	Na logiku orientovaný přístup na Stanfordově univerzitě	59
5.8.3	Antilogický přístup na MIT	61
5.8.4	Faktory stojící za úspěchem symbolického paradigmatu	61
5.9	Krise symbolického paradigmatu	62
5.10	Znalostní inženýrství - expertní systémy	64
5.11	Návrat neuronových sítí	65
5.12	Investiční boom umělé inteligence	67
5.12.1	Komerční využití expertních systémů	68
5.12.2	Počítače 5. generace	68
5.12.3	Komerční využití neuronových sítí	70
6	NOVÉ PŘÍSTUPY UMĚLÉ INTELIGENCE	71
6.1	Reflexe umělé inteligence	71
6.2	Rozvoj systémů na zpracování neurčitosti	72
6.3	Nová vlna umělé inteligence	72
6.4	Paradigma inteligentního agenta	74
6.4.1	Reaktivní agent se subsumpční architekturou	75
6.4.2	Multiagentní systémy (deliberátních) agentů	75
6.5	Rozpoznání řeči a obrazu	76
6.6	Úspěchy na konci 90. let	76

7	AKTUÁLNÍ TRENDY VE VÝZKUMU UMĚLÉ INTELIGENCE.....	78
7.1	Důvody vzestupu umělé inteligence.....	78
7.2	Strojové učení.....	80
7.3	Počítače napodobující mozek.....	83
7.3.1	SyNAPSE.....	84
7.3.2	Human Brain Project	84
7.3.3	Teorie Raye Kurzweila	85
7.4	Výzva k vytvoření záchranných robotů.....	86
7.5	Samořídící prostředky	86
7.6	Obavy z umělé inteligence	87
7.6.1	Nezaměstnanost	87
7.6.2	Příliš dokonalé stroje	88
8	ZÁVĚR.....	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	106
	SEZNAM ZKRATEK:.....	107

PŘEDMLUVA

Vývoj paradigmat výzkumu umělé inteligence jsem si zvolila za téma své práce, jelikož se zájmem sleduji nové zprávy z tohoto oboru a jeho rostoucí vliv na společnost. Osobně je mi také velmi blízký jeho odkaz v literatuře a filmu. V prvním ročníku navazujícího magisterského studia jsem již uvažovala o zvolení tohoto tématu a v rámci předmětu Rešeršní strategie pro vědu a výzkum jsem zpracovala studijně-rozborovou práci Základní směry umělé inteligence, což mi poskytlo důležitý přehled o tomto oboru, jenž mi následně pomohl při zpracování diplomové práce.

Cílem této práce je popsat vývoj ve výzkumu umělé inteligence z hlediska změn paradigmatu a analyzovat současné tendence. Pojem paradigma v názvu této práce je pojmem spojený s Thomasem Kuhnem a jeho knihou *Struktura vědeckých revolucí*. Ve 2. kapitole je jeho pojetí paradigmat zařazeno do kontextu jiných pohledů na teorii vědy. V současnosti se pojem paradigma více přibližuje pojmu přístup a tímto stylem také paradigmatata pojímá i tato práce. Ve 3. kapitole jsou uvedeny definice umělé inteligence a její stručná historie. 4. kapitola je věnována charakteristice vybraných oblastí umělé inteligence. Na vyčerpávající popis všech oblastí zde není prostor a není to ani cílem této práce. V 5. kapitole jsou popsány některé opakující se jevy ve vývoji umělé inteligence, její rozdělení a jsou zde představena základní paradigmatata - symbolické paradigma a konekcionistické paradigma. Umělou inteligenci lze rozdělit dle různých hledisek, ale podle těchto dvou pojetí se nejsnáze sleduje linie vývoje jejího výzkumu. Věnuji se i otázce z jakých myšlenkových základů paradigmatata historicky vycházejí. Kompletní historický přehled tohoto oboru není možné v této práci vyčerpávajícím způsobem popsat. Mým cílem bylo zachytit zejména body, kdy docházelo ke zvratům v jednotlivých paradigmatatech. Postupem času se vynořují nové přístupy. Těmto směrům je věnována 6. kapitola. V 7. kapitole jsou zachyceny aktuální trendy ve výzkumu umělé inteligence. Není možné zde popsat všechny trendy a k nim přiřadit všechny projekty, ale jsou zde vybrány zástupci těch, které jsou v současnosti nejdiskutovanější, a mnoho se od nich očekává.

Na tomto místě bych také ráda poděkovala prof. RNDr. Jiřímu Ivánkovi, CSc. za vstřícné vedení mé diplomové práce a ochotné zodpovězení všech mých otázek.

Diplomová práce má 183 815 znaků, což je v přepočtu 102 normostran. Pro odkazy v textu užívám harvardský citační systém a použité informační zdroje jsou citovány podle norem ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2.

1 ÚVOD

Umělá inteligence je pojem široké veřejnosti všeobecně známý. V současnosti se téměř každý týden objeví zpráva, že umělá inteligence je na dosah. Ať už jde o zdánlivé překonání Turingova testu, výkonné superpočítače nebo budování modelu umělého mozku. Mnoho lidí si tento pojem spojuje pouze s žánrem vědeckofantastických knih a filmů. Umělá inteligence má být něco, čeho se možná dočkáme v budoucnosti. Technologický vývoj v minulých letech však dosáhl takové úrovně, že se řada lidí cítí zaskočena nebo dokonce ohrožena existencí nových produktů, které se tak dlouho zdály neuskutečnitelné, jako jsou samořídící auta, která by se mohla začlenit do reálného silničního provozu. Otázka ohrožení pracovních míst novými výtvarnými techniky je aktuálně značně diskutovaným a velmi seriózním tématem ekonomů.

Některé tyto zprávy jsou velmi přehnané, ale umělá inteligence opravdu udělala za mnoho desítek let obrovský pokrok. Stále ještě vzbuzuje dojem, že je tématem pro futurology, ale právě pro její romantizující nádech si její produkty neuvědomujeme. Pro tento stav dokonce existuje samostatný pojem *AI efekt*. Ve skutečnosti produkty umělé inteligence běžně užíváme. Tento obor existuje od 50. let 20. století, ale představa umělého života stvořeného člověkem, jenž by dokázal jistým způsobem myslet, jde mnohem dále do minulosti. Tím, že se seznámíme s historickým pozadím výzkumu umělé inteligence, můžeme zařadit do kontextu i současné zprávy z tohoto oboru a tím lépe hodnotit jejich význam. Ani to, že se jedná často o zprávy velmi přehnané vyvolávající bombastické titulky, není v umělé inteligenci nic nového. Podobné zprávy se objevovaly i před 50 lety. Historie umělé inteligence je historie výzkumu, který byl financován na základě očekávání. Mnoho z těchto očekávání nebylo převážně v raných letech oboru reálných, ale toto období přineslo mnoho důležitých poznatků, z nichž umělá inteligence dále vycházela a rozvíjela se.

Většina zásadních přelomů ve výzkumu umělé inteligence se odehrála v USA. Přestože se úspěchů v tomto oboru dosahovalo i jinde ve světě, např. ve Velké Británii, Francii nebo Japonsku, klíčové události podstatné pro vývoj umělé inteligence a jednotlivých paradigmat se odehrávaly převážně na území USA. Díky dlouhodobé podpoře Agentury pro výzkum pokročilých obranných projektů DARPA (Defense Advanced Research Projects

Agency) měl tamější vývoj tohoto oboru před světem náskok, který dodnes do značné míry trvá.

Historie umělé inteligence je také historií geniálních svébytných osobností, které prosazují své vědecké názory a navzájem si konkurují. Ať už z důvodu financování projektů nebo proto, že mají odlišné odborné názory. Tato linie je velmi zřetelná ve vývoji jednotlivých paradigmat. Přestože kořeny umělé inteligence jsou velmi propletené, jednotlivé přístupy vycházejí z jiných principů a postupem času si začaly více konkurovat.

Nejsilnějším paradigmatem umělé inteligence bylo dlouhou dobu symbolické paradigma. Druhým nejsilnějším paradigmatem byl konekcionismus reprezentovaný neuronovými sítěmi. Později se objevily nové moderní přístupy vymezující se zejména vůči dominantnímu symbolickému paradigmatu a reprezentaci znalostí. V dějinách umělé inteligence docházelo ke zlomům, které se dají přirovnat k vědeckým revolucím podle pojetí paradigmat Thomase Kuhna. V roce 1969 téměř zanikl výzkum hlavního zástupce konekcionismu neuronových sítí kvůli jedné publikaci, která je kritizovala. I dnes se neuronové sítě často označují jako obor vzniklý v 80. letech, kdy došlo k jejich návratu, a konekcionismus je tak považován ne zcela přesně za mladší část oboru oproti klasickému symbolickému přístupu.

Pro splnění cíle práce, kterým je popsat vývoj ve výzkumu umělé inteligence z hlediska změn paradigmatu a analyzovat současné tendence, je důležité pochopit, které faktory byly pro vývoj paradigmat opravdu klíčové. Zvraty v jednotlivých paradigmatech nezpůsobila pouze vědecká fakta. Jednalo se o kombinace vědeckých objevů, dostatečného výkonu počítačů, politické podpory nebo komerčního úspěchu či neúspěchu. Kombinace těchto různých faktorů se podílela na tom, který výzkum bude či nebude financován a dále rozvíjen. Historie umělé inteligence je plná očekávání a zklamání. Analýza těchto procesů vede k lepšímu pochopení současné situace tohoto oboru a lepšímu pochopení jeho zastánců i kritiků.

2 PARADIGMA VE VĚDĚ

Pojem paradigma pochází z řeckého *parádeigma*, což znamená *vzor* či *příklad*. (Rejzek 2001, s. 447) Paradigma se dá laicky vyjádřit i jako úhel pohledu, jakým se díváme na skutečnost. Tento pojem v souvislosti s vědeckou činností uvedl do širšího povědomí v 60. letech 20. století Thomas Kuhn. Jeho práce zapadá do historie měnících se pohledů na teorii věd a není jediná, která se paradigmata či jejich analogiemi zabývá. V dnešní době bývá tento pojem užíván ve volnějším smyslu, než jej definuje Kuhn a lze jej často zaměnit slovem přístup (Mařík et al. 2001).

2.1 Struktura vědeckých revolucí Thomase Kuhna

Zlomovou prací o vědeckých paradigmatech se do dějin filozofie vědy zapsal Thomas Kuhn, když roku 1962 publikoval své dílo *Struktura vědeckých revolucí* (*The Structure of Scientific Revolutions*). V něm definuje jako **paradigma** „*obecně uznávané vědecké výsledky, které v dané chvíli představují pro společenství odborníků model problému a model řešení či všeobecně přijatý model nebo schéma.*“ (Kuhn 2008, s. 10)

Tento původem fyzik se postupně zaměřil na historii vědy a stal se jednou z nejvýznamnějších postav filosofie vědy 20. století. Určující vliv na něj měla četba Aristotelových textů během přípravy na experimentální přednášky o fyzice. Kuhn byl překvapený, jak se geniální postava světových dějin, jakou byl Aristoteles, jenž je pokládán za zakladatele logiky, mohl tak zásadně mylit v oblasti fyziky a jeho znalosti o mechanice byly zásadním způsobem nesprávné. V myšlenkových postupech Aristotela se nacházelo mnoho naprostých omylů. Kuhn se tázal sám sebe, proč byly naprosto mylné Aristotelovy poznatky z fyziky brány vážně několik staletí stejným způsobem, jakým jsou dodnes brány jeho vynikající poznatky v logice. Při hledání odpovědi na tuto otázku se Kuhn podrobil čtenářskému experimentu. Zkusil vnímat Aristotelovy texty tak, jako by on sám jakožto čtenář textu vůbec nevěděl o existenci newtonovské fyziky. Právě tento princip nahlížení na vědu se stal základem pro Kuhnovu budoucí vědeckou teorii. Nový způsob čtení poskytl Kuhnovi poznatek, že zatímco malé změny ve vědě mohou být činěny po malých krocích, k zásadním změnám dojde formou velkého zlomu, kdy se náhle vyjeví dosud opomíjené či nezaznamenané zákonitosti. Aristotelovy názory na fyziku vnímané Aristotelovým úhlem

pohledu a stupněm jeho znalostí byly pro čtenáře přijatelné. Přestože samotný jeden poznatek byl pochybný, podporoval ho další a tato vzájemná podpora jednotlivostí vytvářela zdánlivě rozumnou teorii. (Kruger et al. 1990, s. 7–22)

Kuhn vychází z dosavadní práce historiků vědy, u kterých převažoval názor, že věda se vyvíjí převážně akumulováním faktů. Nové a nové poznatky měly postupně přispívat k objevům a vynálezům. Středobodem Kuhnovy teorie je, že v určitém bodě samotné akumulování faktů již k vývoji vědy nepřispívá. Klaní se k názoru, že pro některé vědy bylo důvodem tohoto problému to, že si vědci pokládali stále stejné špatné otázky a pro průlom poznání je nutné začít si pokládat jiné. Ke kontroverzním stanoviskům Kuhna patřilo, že některá stará paradigmata vědy označil za mýty a bylo pak podle nich nutné pohlížet i na paradigmata moderní vědy jako na mýty či pověry. V minulosti i přítomnosti spatřoval propojení vědy s vírou. Stejně důvody, které udržují víru, udržují i určitý směr vědeckého poznávání. Musí dojít až k radikální proměně, novému zjištění či publikování průlomového díla. Kuhn tuto přeměnu nazývá **vědeckou revolucí**. Výzkum mezi revolucemi pak **normální vědou**. Po vyčerpání postupů normální vědy dojde ke **krizi**, jež se vyřeší další revolucí a normální věda pokračuje s nově nastoleným paradigmatickým. Pouze v moderním postparadigmatickém období mohou podle Kuhna vedle sebe vzácně existovat dvě paradigmata. Pojmy *normální věda*, *krize* a *paradigma* jsou nejdůležitější pojmy jeho teorie a je přínosné je rozebrat detailněji.

Normální věda je dle Kuhna „výzkum, který je založen přísně na jednom či několika výsledcích, jež určité vědecké společenství jistým způsobem uznává po určitou dobu jako to, co poskytuje základ pro její delší praxi.“ (Kuhn 2008, s. 23) Jedná se tedy o výzkum založený na paradigmatech. V této fázi dochází ke kumulativnímu shromažďování poznatků. Výklad poznatků této fáze je dostupný v učebnicích. Dříve se vycházelo z klasických děl jako *Fysika* od Aristotela nebo *Principia* a *Optica* Isaaca Newtona. Knihy klasiků mohly být také podnětem k vědecké revoluci, pokud byly neobvyklé, takže na svou stranu „dostaly stálou skupinu přívrženců z dobově kvalifikovaných způsobu vědecké aktivity“ a zároveň měly „otevřený konec, aby nově vymezeným odborníkům ponechaly k vyřešení problému všeho druhu“. (2008, s. 23) Takové výsledky se následně staly paradigmaty. Paradigmata dávají výzkumníkům v období normální vědy jistotu, že předmět jejich činnosti je důležitý, jejich cílem je paradigmata zpřesnit a odstranit nejasnosti. Paradigmata také udávají, které problémy

je třeba řešit. Kuhn považuje období normální vědy za dobu, kdy samotní výzkumníci nepřichází s ničím zásadně novým. Dokonce přirovnává toto období k řešení hádanek, kdy nejde o to, jaká je přínosnost hádanky (např. lék na rakovinu), ale o to, zda má hádanka řešení. Tento způsob myšlení tak může vědce dokonce izolovat od zásadního problému světa okolo nich.

Paradigma jsou dle výše zmíněné definice „*obecně uznávané vědecké výsledky, které v dané chvíli představují pro společenství odborníků model problému a model řešení*“ (2008, s. 10) Stěžejní paradigmata jsou např. Aristotelova nebo Newtonova dynamika či Ptolemaiova či Koperníkova astronomie. Z doby před Newtonem neexistovala jasná paradigmata, ale často soutěžení různých škol jako tomu bylo ve starověkém Řecku. Výjimkou je např. matematika, u níž se objevila pevná paradigmata již v její dávné historii. Dle Kuhna vytvoření nového paradigmatu způsobí zánik starších škol, k nové skupině odborníků se připojí ostatní a ti, kteří lpí na starém paradigmatu, jsou vyloučeni z odborných řad. Nové paradigma pak obor přesněji vymezí. Paradigma zjednodušuje vědci práci tím, že již nemusí obhajovat základy svého odborného zaměření, či obhajovat použití základních pojmů. Může z paradigmatu vycházet a obor dále rozvíjet do hloubky.

Krize vzniká, jestliže normální věda nedokáže řešit některé své hádanky, dosavadní metodologie selhává a dochází k anomáliím. Tento stav vzbuzuje u vědců nejistotu. Mohou se objevovat nové soutěžící teorie a dosavadní paradigma je čím dál více zpochybňováno. Naprosté popření paradigmatu je však možné až v případě existence nového. V této době může o místo nového paradigmatu soutěžit více teorií, jako tomu bylo v preparadigmatickém období. Zkoumání anomálií a opuštění dosavadního stereotypního myšlení v rámci bortícího se paradigmatu připravuje půdu pro nové objevy. (2008, s. 75)

Vědeckou revoluci podle Kuhna tvoří „*takové nekumulativní události ve vývoji vědy, v nichž je staré paradigma zcela nebo zčásti nahrazeno novým, které je s paradigmatem starým neslučitelné*“ (2008, s. 98) Takovou revolucí byly např. objevy Mikoláše Koperníka. Kuhn při osvětlování pojmu využil paralelu vědecké a společenské revoluce. Během krize roste počet nespokojených lidí, kteří se vzdalují uznávaným politickým institucím a uchylují se k nějaké nové myšlence na nápravu současného stavu. Selžou-li nápravné společenské mechanismy, příznivci revoluce mohou třeba i násilně přesvědčit ostatní populaci. Kuhn viděl starou politiku jako upadající paradigma a nové paradigma jako něco, co vyhrává-li v souboji

myšlenek, nakonec přemůže jakékoliv odpůrce a nenechá jim místo v hlavním proudu vědy. Soužití různých paradigmat pokládal prakticky za nemožné. Nová teorie nemusí být zcela neznámá nebo ve sporu s předešlými, může vycházet jen ze zatím opomíjených či neznámých jevů. (Erban 2003, s. 31)

2.2 Kritika Thomase Kuhna a ostatní pohledy na paradigmat vědy

Kuhnova postmoderně zpochybňující teorie vyvolala kromě vlny pozitivních ohlasů i značnou kritiku. Zpochybňovala tradiční představu pozitivistické vědy jako něčeho racionálního. Věda během svých dějin bojovala s dogmaty církve a pověrami a ideální představa vývoje dějin vědy byla lineární cesta k dokonalosti. Kuhn však narazil na odpor i u moderních pojetí filozofie vědy. I pro moderní převážně humanisticky laděné filozofy vědy byl ideálem myšlenkově nezávislý vědec a představa dosahování pravdy. Kuhnovu teorii nepřijal Karel Popper i představitelé Vídeňského spolku a mnoho představitelů tradiční vědy, kteří odmítali, že jen plní úkoly v rámci normální vědy.

2.2.1 Pozitivismus

Struktura vědeckých revolucí stála oproti tradiční teorii **pozitivismu**, jehož raný zástupce August Comte definoval vědu jako vrcholného zástupce v hledání pravdy. Podle Comtova členění stupně lidského poznání přichází pozitivistické stádium po stádiu teologickém a metafyzickém. Pozitivismus prosazuje myšlení, které stojí na ověřitelných faktech a pozorování. Cokoliv ostatního vnímá jako mýtus či pověru. Představa, že samotný „dokonalý“ vědecký pohled na realitu Kuhn srovnává s mýty, je tedy v zásadním rozporu s pozitivistickým přístupem. Pozitivismus hledal konstantní zákony metodou detailního studia, které muselo podložit veškeré uznávané vědecké poznání (2003, s. 33).

2.2.2 Filozofie vědy ve 20. století a přijetí koexistence paradigmat

Na toto klasické pozitivistické pojetí vědy navázal na začátku 20. století novopozitivismus neboli logický pozitivismus vycházející z představy, že věda znamená něco objektivního, logického a pravdivého a to nejlépe prostřednictvím něčeho vypořádaného - empirie čili zážitku nebo experimentu. Metodou tradiční vědy je verifikace, již prosazoval Rudolf Carnap s dalšími novopozitivisty zastoupenými v tzv. Vídeňském kroužku. (Kučera

1984, s. 73–74) Toto uskupení později vyniklo kvůli rozporu s dalším významným filozofem vědy a Kuhnovým kritikem Karlem Popperem.

Karl Raimund Popper se v pohledu na vědu s o dvacet let mladším Kuhnem zásadně rozcházel. Ideál vědce byl pro něj hledač pravdy a kreativní myšlení jedince hnací silou vědeckého bádání. Na rozdíl od empirického přístupu ke vědě, kde se dokazuje správnost teorie, zastával kritický racionalista Popper myšlenku falzifikace, která je v souladu s jeho odporem k diktátorským tendencím ve společnosti i ve vědě. Místo potvrzování teorie je podle Poppera správné snažit se o její falzifikaci a hledat případy, kdy není platná. Vědecká teorie podle něj nejde nikdy zcela dokázat, ale proces vyvracení myšlenky vzbuzuje kreativitu a je hnacím motorem k hledání pravdy. Tím, že ji zpochybníme, může přijít další myšlenka. Čili paradigma nepadá najednou, ale vědecké myšlenky se tvoří takovým způsobem, aby se daly vyvrátit. (Notturmo 2002; Tkadlec 2007, s. 17) Zpochybňování je také paralela k demokratickému zřízení společnosti, což bylo Popperovo další životní téma. Jeho teorie falzifikace byla a je často zpochybňována, což je chápáno metodou falzifikace potvrzení její vědeckosti. Kuhn, jenž byl se svou teorií vědeckých revolucí s touto myšlenkou v zásadním rozporu, se dokonce domníval, že samotný akt falzifikace není možný. Projev falzifikování podle něj probíhá již v etapě, kdy vítězí nové paradigma a nejednalo se tak podle něj o falzifikaci, nýbrž o verifikaci nového paradigmatu. (Kuhn 2008, s. 145)

Paralelu k paradigmátům najdeme rovněž u **Michaela Foucalta**, jehož pojem **epistémy** uvedený v jeho knize *Archeologie vědění* (L'archéologie du savoir) vydané roku 1969, tedy 7 let po Kuhnově *Struktuře vědeckých revolucí*, má s paradigmaty společné charakteristiky. Foucaltovou optikou se nejedná o pojem, který se zabývá speciálně vědeckou teorií, ale jedná se o všeobecný diskurs myšlení určité epochy. I tyto diskursy jsou si vzdálené a neslučitelné. Tím, že určitý jeden diskurs opustíme, jen velice těžko opravdu poznáme minulost, protože už na ní nahlížíme zcela novým diskursem. (Erban 2003, s. 31)

V českém prostředí se teorii paradigmát zabývá **Zdeněk Neubauer**, jenž Kuhnovu teorii neslučitelných paradigmát schvaluje, ale nedomnívá se, že by paradigmata za sebou šla nahodile. Ani on nechce opustit představu vědy jako činnosti hledání pravdy a přirovnává její vývoj k dramatu, ve kterém se objasňují důvody či pointa dřívějších dějů až po uplynutí času. Přesvědčení o hodnotě pravdy viděl právě ve schopnosti vědce změnit úhel pohledu a přijmout jiné paradigma. „*Je to zážitek, jímž jsou překročeny hranice světa opouštěného*

paradigmatu – zážitek transcendence. Dochází přitom k bezprostřednímu dotyku se skutečností...“ (Neubauer 2001, s. 144) Neubauer se díval na paradigmatu v širším společenském kontextu blíže Foucaultovým epistémům. Podle něj je paradigma opravdové pouze, pokud opustí teoretickou či čistě vědeckou rovinu, a začlení se do každodenní zkušenosti celé společnosti. Také způsob, jakým se paradigmatu střídají, nepovažoval za náhodný, nýbrž jako vývoj, jehož cílem je přece jen se docházet k pravdě. Tato cesta ovšem nemusí být časově přímá, ale může na ní docházet ke kolizím a návratům do minulosti. Pro Neubauera je zásadní role symbolů, které spojují paradigmatu z různých oblastí a umožňují tak vzájemné porozumění. (Erban 2003, s. 32)

Po vydání *Struktury vědeckých revolucí* se naskytla otázka, zda v postmoderní pluralitní době mohou existovat pevná paradigmatu. V současné době se mnozí vědci přiklánějí k novému **postmodernímu či postklasickému pojetí paradigmatu**, kdy se z pevného vymezení jednotlivých paradigmatu dostáváme k mnohem ohebnějšímu chápání toho, co znamená paradigma. Postklasické či postmoderní paradigma vidí svět méně mechanicky a více živě jako celek plný nejrůznějších vlivů. Snaží se vnímat dosahy vědy i mimo její nejužší cíle a zahrnout do ní etické či teologické otázky. Bráno z pohledu Auguste Comta, věda se pootáčí směrem k teologickému či metafyzickému období. Jednodušeji lze tuto změnu popsat tak, že na vědce je kladena větší míra odpovědnosti a věda je podrobena mnohem větší kritické kontrole z různých stran, tedy i ze stran ne zcela racionálních, a bere se za správné, když věda bere argumenty těchto stran na vědomí. (Erban 2003, s. 33) Častou kritikou Kuhna bylo, že v moderní době se již paradigmatu navzájem nevylučují. Fyzik Jiří Langer píše v doslovu knihy *Thomas Kuhn a vědecké války* (Thomas Kuhn and the Science Wars) o vědeckých revolucích jako revolucích sametových, kdy paradigmatu nezahazujeme, ale použijeme jejich správně poznatky i nadále. Jsme zvyklí, že akceptujeme rozlišná paradigmatu. Přijetím Einsteinovy teorie jsme rozhodně nezavrhlí Newtonovu gravitaci. (Sardar 2001, s. 73–74) Změny se nedějí pouze formou velkých zvrátů, ale dochází k nim na úrovni různých hierarchických struktur. (Tondl 2009, s. 31) Podle Ladislava Tondla je prolínání jednotlivých oborů inspirativní a posouvá vědu kupředu, zatímco přehnaný resortismus (zaměření na úzký obor) je dávno překonaný přístup z poloviny 19. století a začátku 20. století a vědě spíše škodí. Tondl z osobní zkušenosti vyzdvihuje přínos v prolínání oborů u medicíny a kybernetiky. (Tondl 1994, s. 63–64)

V současnosti se prolínají různé přístupy a vědec se může inspirovat různými poznatky a neplnit pouze zadání vítězného paradigmatu. Tímto stylem také podává tato práce pohled na vývoj paradigmat výzkumu umělé inteligence. Přestože se může zdát, že některá její paradigmata zanikala a na jejich úkor se vědeckému zájmu těšila jiná, ve skutečnosti k žádnému opravdovému zániku nedošlo. Přes přeliv trendů a vrtkavou přízeň státních i soukromých investorů a časem se zvyšující specializaci v tomto oboru, byl výzkum umělé inteligence vírem navzájem se ovlivňujících myšlenek z různých směrů oboru.

3 UMĚLÁ INTELIGENCE, JEJÍ CHARAKTERISTIKA A HISTORIE

Umělá inteligence není jako obor snadno definovatelná a její zařazení není jednoznačné. Skládá se z mnoha dílčích oblastí. Samotný obor umělá inteligence je zahrnován pod informatiku, ale některé její části jsou popisovány jako aplikovaná kybernetika. (Srovnal 2008, s. 5) Zahrnuje mnoho směrů a je rozdílné, jakou představu si s tímto pojmem spojuje laická veřejnost a jak ji definuje odborná obec. Tento pojem je spojený s popkulturou. Některá očekávání vědců v době oficiálního založení oboru, za něž se pokládá Darmouthská konference v roce 1956, se prolínala s očekáváním diváků vědecko fantastických filmů. První naděje umělé inteligence odkazuje na ty filozofy, kteří se na paradigma nedívají pouze jako na způsob vědeckého zkoumání, ale šířeji jako na společenský diskurs dané doby. Nejen odborníci, ale i veřejnost byla plná očekávání dramatického vývoje strojů. Dodnes si pod pojmem umělá inteligence značná část veřejnosti představí roboty či jiné superintelligentní stroje, které nezdědka objevují svou identitu.

3.1 Definice umělé inteligence

Definice umělé inteligence existuje velmi mnoho a nezdědka se od sebe liší. Vymezení předmětu zkoumání tohoto oboru podle Vladimíra Maříka jsou „*postupy a algoritmy, které ve svém důsledku vedou k určitému napodobení projevů inteligentního chování člověka.*“ (Mařík et al. 1993, s. 15) Podle jednoho z otců zakladatelů umělé inteligence Marvinina Minského je umělá inteligence „*věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který - kdyby ho dělal člověk - bychom považovali za projev jeho inteligence*“. Z této definice vyplývá, že umělá inteligence řeší úkoly natolik složité, že by jejich řešení člověkem vyžadovalo uplatnění jeho inteligence. Podle Elaine Richové, autorky knihy *Automaty, počitatelnost a komplexita* (Automata, Computability and Complexity) se „*umělá inteligence zabývá tím, jak počítačově řešit úlohy, které dnes zatím zvládají lidé lépe*“. Podle této definice je obsah umělé inteligence vázán na aktuální stav v oblasti informatiky. Nevýhodou této definice je podle Vladimíra Maříka, že nezahrnuje úlohy, které neumí řešit ani počítač ani člověk. Přesto jde o přesnou definici toho, čím se tento obor reálně zabývá. Podle českého kybernetika Zdeňka Kotka je umělá inteligence „*...vlastnost člověkem uměle vytvořených systémů vyznačujících se schopností rozpoznávat předměty, jevy a situace, analyzovat vztahy mezi nimi a tak vytvářet vnitřní modely světa, ve*

kterých tyto systémy existují, a na tomto základě pak přijímat účelná rozhodnutí, předvídat důsledky těchto rozhodnutí a objevovat nové zákonitosti mezi různými modely nebo jejich skupinami“. Kostkuv popis umělé inteligence charakterizuje procesy jako rozpoznávání, reprezentace znalostí, řešení úloh a další. (1993, s. 17–18)

Umělá inteligence je podle Eugena Chamiaka a Drewa McDermotta „*studium mentálních procesů za použití výpočetních modelů*“, podle definice Richarda Bellmana „*automatizace aktivit, které dáváme do souvislosti s lidským myšlením, rozhodováním, řešením problémů a učením...*“ nebo jak napsal Patrick Winston „*vzrušující nová snaha přimět počítače myslet a to v doslovném smyslu tohoto slova*“. (Russel a Norvig 2009, s. 2)

Většina těchto definic má společnou charakteristiku. Požaduje, aby produkt umělé inteligence byl v nějaké míře samostatný. Tuto samostatnost poměřují s člověkem a to ideálně aspoň na takové úrovni, kterou člověk zatím dosáhne, ne nutně lepší.

3.2 Historie umělé inteligence

Historií umělé inteligence se v této práci zabývá rovněž 5. kapitola Vývoj paradigmat umělé inteligence, kde se jednotlivé události a vlivy na vývoj paradigmat umělé inteligence detailně rozebírají. Pro lepší pochopení tématu je v této podkapitole popsán stručný popis základních faktů vývoje oboru.

3.2.1 Předchůdci výzkumu umělé inteligence

Přestože se za počátek oboru moderní umělé inteligence pokládá Darmouthská konference v roce 1956 nebo myšlenky Alana Turinga, činnosti, které lze pod širokou definici umělé inteligence zahrnout, jsou mnohem starší a ideové zázemí moderní umělé inteligence se vyvíjí z hlubší historie.

Snaha člověka vytvořit umělou bytost s určitým stupněm inteligence, která by ho nahradila v práci či jiných činnostech, je velmi stará. Přestože se technika ještě nedovolovala k takovému cíli ani přiblížit, existovala umělá inteligence alespoň ve formě pověstí. V řecké mytologii se traduje, že bůh Héfaistos stvořil řadu umělých bytostí včetně mechanických žen, které mu měly pomáhat při chůzi, či měděného obra Talóa, jenž měl strážit Krétu. Myšlenka umělého života našla prostor na dvoře milovníka okultních věd císaře Rudolfa II. Umělá bytost se nazývala latinským výrazem pro človíčka - „*hommunkulus*“. V pojetí středověké

alchymie tento pojem znamenal uměle vytvořenou bytost bez duše (stvoření duše náleželo bohu). *Hommunkulus* existuje ve středověké imaginaci ve fyzické podobě jako živočich a jeho poslušnost k lidskému stvořiteli nemusí být dokonalá. Nejznámějším legendárním hommunkulem je pražský *Golem*. Slovo golem znamená v hebrejštině nedokonalost. Nedokonalost imaginárních bytostí a jejich nedokonalá poslušnost a vzpoura proti člověku je dodnes velkým tématem ve sci-fi a některých filozofických směrech zabývajících se umělou inteligencí.

V osvícenství se rodí filozofické základy, z nichž vychází některá z paradigmat umělé intelligence, v dílech Johanna Gottfrieda Leibnize či René Descarta. S pokrokem vědy začaly vznikat první opravdové stroje schopné provádět složitější matematické operace. Objevovaly se pokusy s mechanickými loutkami. Měl jim být i mechanický lev Leonarda da Vinciho nebo umělý hráč na flétnu Jaquea de Vaucansona. Jedná se ale spíše dohady. Vrcholem mechanických automatů bylo Kubinovo vejce z 18. století, které hrálo za pomoci miniaturních koleček. V roce 1652 sestrojil Blaise Pascal jednoduchý sčítací stroj. Charles Babbage vynalézá v 19. stol stroje schopné logaritmičtých výpočtů. (Zelinka 2003, s. 14–18)

Ve 20. století vznikl po 1. světové válce Televox - stroj, které dokázal mluvit díky zabudované gramofonové desce. Stroj Occult zneškodňoval ostnaté dráty a další překážky a byl tak prvním podobným strojem, který našel využití v armádě. Pro další vývoj umělé intelligence byl zásadní krom teoretického základu rovněž rozvoj počítačů. (2003, s. 20)

3.2.2 Vznik moderního oboru umělé intelligence

Ve 20. století vznikaly díky vývoji techniky první moderní počítače a toto období poskytlo základy pro rozmach a skutečný počátek oboru umělé intelligence. Jednou ze zakladatelských osobností umělé intelligence byl Alan Turing. V roce 1950 se ve svém článku *Výpočetní stroje a intelligence* (Computing machinery and intelligence) zabýval otázkou inteligentního chování strojů. Tyto otázky se rozhodl ověřit testem, který nazval imitační hra dnes, známým jako **Turingův test**. Turingův test byl mnohokrát kritizován. Jedním z nejznámějších protiargumentů se stal tzv. argument čínského pokoje Johna Searla z roku 1980.

Roku 1956 se na Darmouthské konferenci sešli odborníci zabývající se o mentální schopnosti lidí a strojů. Odborníci z matematiky, elektrotechniky, lingvistiky, neurologie,

psychologie a filozofie. Cílem bylo prodiskutovat domněnku, že každé hledisko učení nebo jakýkoliv jiný příznak inteligence může být v principu tak přesně popsán, aby mohl být vyvinut stroj, který ho simuluje. Zdůrazňována byla myšlenka, že počítače by mohly pracovat se symboly stejně tak dobře jako s čísly. Bylo tak poprvé definováno pole společného zájmu a tím i obsah nové vědní disciplíny. (Mařík et al. 1993, s. 19)

50. a 60. léta byla ohledně vývoje umělé inteligence velmi optimistická. Zakladatelé oboru předpovídali rychlý vývoj oboru a mezi předpovídanými metami výzkumu umělé inteligence byly cíle, aby stroj byl schopen porazit velmistra v šachu, odhalit velké matematické teorémy či porozumět přirozenému jazyku. (Velik 2010, s. 14)

Frank Rosenblatt navázal na práci McCullocha a Pittse, když vyvinul koncem roku 1957 perceptron, model nervové buňky - neuronu. Tento model schopný simulovat činnost nervové soustavy položil základ výzkumu klasifikace a poznávání. Poskytl též impuls k prvotním algoritmům adaptace a učení. Tento typ neuronů ovšem ještě ve své době nenašel příliš praktického uplatnění. (Veselý 2005, s. 11) John McCarthy navrhl jazyk LISP - jazyk pro umělou inteligenci. Později byly pro zvýšení rychlosti zpracování programů v tomto jazyce vyvinuty speciální procesory. Roku 1967 navrhl Alain Colmerauer jazyk PROLOG, který se prosadil v Evropě a v Japonsku. (Mařík et al. 1993, s. 20)

3.2.3 Zklamání po Darmouthské konferenci a další vývoj

Odvážná očekávání 50. let a 60. let se neblížila svému naplnění a umělá inteligence zažívala svoji krizi. Ukázalo se i to, že vědci nemohou dosáhnout univerzálního systému, který bude schopen řešit úkoly bez znalosti specifík problémů. Vědci docházeli k poznání, že obecné metody jsou příliš slabé pro řešení vysoce specializovaných úloh. Důraz se přesunul na výzkum znalostí a mechanismy jejich využívání. Cílem se stalo získávání, reprezentace a využívání speciálních expertních znalostí s využitím dostupných metod umělé inteligence. Systémy, jejichž síla je v kvalitě, rozsahu a reprezentaci znalostí, se nazývají expertní systémy. Pro jejich vznik byl podstatný výkon nových výkonnějších počítačů. (Sklenák 2001, s. 93) Znalosti expertů se v kódované formě přenesou na expertní systém, který by měl nahradit konzultace s lidskými specialisty. Tyto znalosti převzaté od lidského specialisty se nazývají báze znalostí. Části těchto znalostí jsou neurčité. V 70. letech vznikly expertní

systemy MYCIN a PROSPECTOR. Tyto systémy pracují s modelem neurčitosti informací. (Mařík et al. 1993, s. 21)

V 80. letech došlo k obnovení zájmu o neuronové sítě potom, co vznikl algoritmus adaptace pro vícevrstvou neuronovou síť. Na rozdíl od dřívější jednovrstvé sítě se tato síť mnohem více hodila k reálnému uplatnění v praxi a neuronové sítě zažívaly návrat na výsluní. V tomto období docházelo k další vlně rozvoje umělé inteligence. V Japonsku vznikla vize tzv. počítačů 5. generace. Tyto počítače měly kombinovat vysokou rychlost paralelního zpracování a strojové učení. Byly založené na distribuční architektuře. Projekt pokračoval až do 90. let, ale není považován za úspěšný. Opakoval cestu přehnaně ambiciózních očekávání, které pak při nesplnění - stejně jako v případě očekávání po Darmouthské konferenci - vedly k větší skepsi k možnostem umělé inteligence. (1993, s. 23)

K přiblížení jednoho cíle optimistické rané fáze umělé inteligence došlo roku 1997, kdy počítač Deep Blue porazil Gari Kasparova. Přes nezdár velkolepých vizí se umělá inteligence dále rozvíjela. (Zelinka 2003, s. 17) V dalších letech docházelo k rozvoji v jednotlivých oblastech umělé inteligence - v reprezentaci a využívání znalostí, neuronových sítí i expertních systémech, robotice a dalších. V současnosti se rozvíjí systémy s vlastnostmi strojového učení, systémy, které dokážou zpracovat obrovské objemy dat, metody dataminingu a mnoho další metod. (Russel a Norvig 2009, s. 26–28)

4 CHARAKTERISTIKA NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH OBLASTÍ UMĚLÉ INTELIGENCE

Technický popis všech oblastí umělé inteligence by byl rozsáhlý. V této práci jsou zahrnuty pouze ty nejzákladnější a ty, které byly zásadní pro směřování tohoto těžko zařaditelného oboru. Ani u nich není technický obsah popsán zcela vyčerpávajícím způsobem společně s popisem všech větví výzkumu, trendů a novinek a jde spíš o jejich principiální charakteristiku. Technickým aspektům těchto témat se věnuje mnoho publikací a není možné je zde v celkové formě zahrnout. V této kapitole jsou popsány základní principy fungování řešení úloh, práce se znalostmi, neuronových sítí, fuzzy logiky, distribuované umělé inteligence a evolučních algoritmů.

4.1 Řešení úloh

Řešení úloh je jednou z nejstarších oblastí v oblasti umělé inteligence a využívá se i v jejích dalších oblastech. Úloha k řešení je definována v rámci určitého prostředí. Popis stavu prostředí se formalizuje a je k němu přiřazena množina akcí, jíž lze prostředí měnit. Pro každou akci existují podmínky, které musí stav prostředí splňovat, aby bylo možné akci uskutečnit. Pro každou akci existuje rovněž formální popis výsledku. Množina všech stavů úlohy tvoří její **stavový prostor**. Okamžitý stav úlohy je reprezentovaný určitým bodem ve stavovém prostoru. Výsledkem akce je potom pohyb bodu na jiné místo ve stavovém prostoru. Řešení úlohy je tak možné vyjádřit i jako dráhu - trajektorii v nějakém stavovém prostoru, který vede od jednoho počátečního stavu k druhému - výslednému. Cílem systémů umělé inteligence je nalézání optimální posloupnosti takových akcí vedoucích k řešení - **plánu**. Metody tvorby plánů se nazývají metody řešení úloh. Stavový prostor tedy může být vyjádřen orientovaným grafem. Řešení úloh lze definovat jako hledání přijatelné cesty v orientovaném grafu. Další oblastí řešení úloh je dokazování vět. K účelu formalizování této problematiky se využívá predikátová logika. (Mařík et al. 1993, s. 33–35)

4.2 Práce se znalostmi

Mezi práci se znalostmi neboli také do znalostního inženýrství se řadí expertní systémy, ontologie a datamining. Modifikace lidských znalostí různé charakteristiky

do strojové podoby je základem reprezentace znalostí, jejímiž prvními produkty byly expertní systémy. (Sklenák 2001, s. 93)

4.2.1 Expertní systémy

Expertní systémy lze zařadit do moderních směrů umělé inteligence, přestože některá pojetí je řadí již do tradičních směrů. (Mařík et al. 2001, s. 20) Expertní systém měl ze začátku ve své zásadní podstatě sloužit jako náhrada konzultace s lidským odborníkem, který současně čerpá výhody stroje v možnosti zpracovat rozsáhlé množství dat. (Sklenák 2001, s. 93)

Prvním významným expertním systémem byl systém DENDRAL, na kterém pracoval Edward Feigenbaumem a další odborníci ze Stanfordovy univerzity (Stanford University), a který měl určovat neznámé organické sloučeniny. Tento systém dokázal sám vygenerovat hmotový spektrogram (analýzu struktur molekul) a srovnat ho se skutečným. Existuje obrovské množství možností, jak by mohla molekula ve spektrometru vypadat. Nalezení struktury je srovnatelné s volbou výsledku na principu rozhodovacího stromu. DENDRAL navrhl možné struktury a k nim vytvořil svůj spektrogram, čímž došlo k omezení možných obrazů spektrometru na přijatelnou míru. DENDRAL sám neměl ještě zásadní charakteristickou vlastnost expertních systémů - neměl oddělenou bázi znalostí a mechanismus pro jejich využívání. Pracoval s programovacím jazykem pro umělou inteligenci LISP.

Charakteristické rysy expertních systémů jsou:

- a) **Oddělení znalostí a mechanismu jejich užívání.** Toto striktní oddělení umožňuje vytvářet tzv. prázdné expertní systémy, kde je možné zadávat různé znalosti, přičemž rozhodovací mechanismus zůstává stejný.
- b) **Neurčitost báze znalostí.** Kromě exaktních znalostí jsou v bázi znalostí i heuristiky, které měl expert tzv. zažité. Do systému se tyto znalosti většinou zahrnují v rámci určité škály.
- c) **Neurčitost dat.** Konkrétní data mohou být zatížena subjektivitou uživatele.
- d) **Dialogový režim.** Expertní systémy často slouží jako konzultant. Uživatel se ptá a systém odpovídá.

- e) **Vysvětlovací činnost.** Systém by měl uživateli vysvětlit své závěry.
- f) **Modularita a transparentnost báze znalostí.** Modularita (skladebnost) umožňuje jednoduchou aktualizaci znalostí a transparentnost.

Základní úlohy expertních systémů jsou:

- a) **Diagnostická.** Nalézá chyby v nějakém systému. Příkladem je lékařský expertní systém MYCIN.
- b) **Interpretační.** Analyzuje data a interpretuje je. Příkladem je DENDRAL či PROSPECTOR.
- c) **Monitorovací.** Interpretace signálů a dat v reálném čase. Např. systém VM „umělé plíce“.
- d) **Plánovací.** Např. MOLGEN - systém pro plánování experimentů v genetice.
- e) **Designová.** Vytváří konfiguraci objektů. Např. R1/XCON navrhuje počítačové systémy.
- f) **Předpovídající.** Předpověď budoucnosti. Např. Glaukoma - systém, který předpovídal vývoj zeleného zákalu.

Prvními důležitými expertní systémy byly:

- a) **MYCIN.** Vznikl na počátku 70. let. Diagnostikoval krevní vzorky a doporučoval vhodnou léčbu. MYCIN určí diagnózu a stanoví vhodný lék a jeho dávkování. Na principu MYCINU vznikla celá řada jiných lékařských systémů.
- b) **PROSPECTOR.** Tento systém dokázal určit možné ložisko molybdenu a stal se tak jedním z prvních komerčně velmi úspěšných systémů. Činil tak na základě rozborů vrtů, ale i pozorování terénu. Úspěšné nálezy zaznamenal v 80. letech 20. století a navazuje na něj řada systémů.
- c) **R/XCON.** Systém R1/CON konfiguroval sálové počítače. Byl orientován na jeden typ počítače, ale postupně se rozvíjel a dokázal sestavit mnoho dalších typů a to díky tomu, že se jeho báze dat mohla dále aktualizovat. Neztrácel tak cenu v čase. Řadí se mezi komerčně nejúspěšnější systémy. (Sklenák 2001, s. 94–96)

4.2.2 Reprezentace znalostí

Základním problémem reprezentace znalostí je, jakým způsobem do strojové podoby převést znalosti, které člověk přirozeně sbírá pomocí vzdělání a zkušeností. Ve strojové podobě tedy z dat vytvořit informace použitelné k rozhodování. Reprezentace znalostí se tak prolíná všemi složitějšími obory umělé inteligence. (Veselý 2005, s. 7; Sklenák 2001, s. 93)

Mezi nástroje reprezentace znalostí patří tyto metody a jejich kombinace - např. predikátová logika, sémantické sítě, rámce nebo pravidla (Sklenák 2001, s. 109):

- a) **Predikátová logika.** Predikátová logika zahrnuje výrokovou logiku. Dovoluje popsat složitější situace. Umožňuje charakterizovat vlastnosti objektů. Tyto vlastnosti lze kvantifikovat. (Novák a Dvořák 2006, s. 3)
- b) **Sémantické sítě.** Popisují realitu jako objekty, které jsou navzájem v nějakých vztazích. Mají přirozenou grafovou reprezentaci; objekty jsou uzly a relace mezi nimi hrany v grafu. (Berka 1998, s. 56)
- c) **Rámce.** Rámce navrhl Marvin Minsky, aby vnesl do reprezentace znalostí psychologickou motivaci. Umožňují vyjádřit statistickou hierarchii pojmů nebo dekompozici. Vazbu mezi rámci lze znázornit grafem. (Berka 1998, s. 59; Volná a Kotyřba 2013, s. 91)
- d) **Pravidla.** Sémantika pravidel vychází z výrokové logiky a má strukturu IF – THEN. Tedy jestliže situace, pak akce či závěr. Podle toho, jedná-li se o generativní systém (akce) nebo diagnostický systém (závěr). (Sklenák 2001, s. 109)

4.2.3 Ontologie

Ontologie je z filozofického hlediska nauka o bytí a existenci věcí. V oboru práce se znalostmi popisuje to, co může znalosti reprezentovat. I u ní však vývojem v oboru docházelo k posunutí významu. Definice ontologie od Thomase Grubera zní: „*Ontologie je explicitní dohoda o sdílené konceptualizaci*“. (2001, s. 142)

Důležité charakteristiky ontologie jsou:

- 1. **Ontologie tvoří metaznalosti.** Obsahuje podmínky toho, co musí být ve znalostech obsaženo – pojmy a vztahy mezi nimi. Např. pojmy v medicíně jsou diagnóza,

syndrom, symptom. Znalostí je i vztah, že symptomy mohou být součástí syndromů. Nepoužívá se konkrétní název nemoci.

2. **Ontologie se snaží být sdílitelná**, čehož se dosahuje pomocí určitého standardu. Tento standard nemusí být oficiálně verifikovaný, ale měl by být sdílen větší komunitou účastníků. Účastník, který užívá standardu, na sebe bere závazek, že formát znalostí bude odpovídat dané ontologii.
3. Ontologie musí být jasně **explicitně vyjádřená**, ať už je formální či neformální.

Ontologie usnadňuje komunikaci mezi lidmi a organizacemi, počítačovými systémy. Jde o jazyk sloužící k výměně informací. Postupným vývojem se vytvořilo několik **typologií ontologií**.

1. **Doménová ontologie** je nejrozšířenější a tvoří konceptuální základ znalostí určitého oboru. Např. pro medicínské znalosti UMLS či Enterprise ontology pro strukturu podniku.
2. **Úlohová ontologie** se zabývá modely řešení problémů.
3. **Generická ontologie** vychází z doménové ontologie, ale snaží se vytvořit univerzální ontologii. Problémem je, že pro svoji šíři neobsahuje detailní informace o různých oborech a v praxi se proto příliš nevyužívá.
4. **Aplikační ontologie** je ontologie konkrétní aplikace a obsahuje v sobě doménovou úlohovou složku. Je obtížné ji využívat i v jiných aplikacích, ale je to možné. Bývá rozdělená na všeobecné jádro a konkrétnější extenzi.
5. **Reprezentační ontologie** definuje jazyk pro reprezentaci znalostí.

Světovým centrem pro sdílení ontologií je Ontology server na Stanfordově univerzitě. Ontologie se významně uplatňuje při tvorbě webových stránek, kde tvůrci vytvářejí znalostní notace vystihující nejpodstatnější informace o stránce. Důležitou roli hrají i v oblasti digitálních knihoven. (2001, s. 142–143)

4.3 Neuronové sítě

Neuronová síť je soubor vzájemně propojených umělých neuronů, obvykle lineárních. Tato část umělé inteligence byla během své historie velebena, zatracována a znovu velebena. Reprezentuje důležitý směr té umělé inteligence, která se snaží inspirovat v biologii člověka - v tomto případě neuronem lidského mozku. Každý neuron svým způsobem přijímá kladné a záporné podněty – elektrický signál. Prvním umělým modelem neuronu byl tzv. logický neuron z r. 1943 McCullocha a Pittse. Dalším byl adaptivní neuron ADALINE z roku 1960. Vstupem do modelu neuronu byly číselné hodnoty, které jsou násobeny určitou vahou. Výstupy z neuronu jsou pak jedničky či nuly - čili podobný signál, který vykonává živá neuronová buňka. Algoritmus nastavení vah měl v ADALINE simulovat schopnost učení se. Tato schopnost je důležitou vlastností neuronových sítí. První neuronovou sítí byl PERCEPTRON z roku 1957 Franka Rosenblatta. Tato síť byla navržena jako model zrakové soustavy. Jde o hierarchický systém, který se skládá ze tří úrovní. První z nich - sítnice slouží k přijímání informací z prostředí, je tvořena prvky, jejichž hodnota nabývá hodnot 1 nebo 0. Nevýhodou neuronů je, že poskytnou řešení, ale už ne zdůvodnění. Např. v medicíně by mohly moderní neuronové sítě dosahovat vynikajících výsledků, ale bez zdůvodnění výsledné diagnózy se v praxi toto řešení nemůže rozšířit. (Zelinka 2003, s. 38–39)

Důležité vlastnosti neuronů jsou:

Schopnost učení. Neuron nemusí mít žádné speciální znalosti ke klasifikaci určitých prvků. Stačí mu např. nějaký počet exemplářů - tzv. učební soubor. Není tedy třeba konkrétního algoritmu či analýza úlohy.

Schopnost generalizace. Neuron může identifikovat přijímané signály, které se podobají něčemu, co již zná, a zařadit je do stejné třídy.

Paralelismus zpracování vstupní informace. V síti je aktivní ten neuron, který rozpozná úlohu. Ostatní jsou neaktivní.

Robustnost. Změna vah u neuronu většinou znamená jen malé zhoršení kvality, nikoliv kompletní selhání. (Veselý 2005, s. 71–72)

Neuronová síť vzniká propojením neuronů. Jeden neuron bývá propojen s více neurony najednou. Spojení mezi neurony je charakterizováno určitou vahou. Neuronové sítě mohou mít různé topologie podle toho, jak jsou neurony navzájem propojené. (2005, s. 84)

Druhy neuronových sítí jsou např.:

Vrstevná síť se skládá z vrstev neuronů. Neurony jedné vrstvy spolu nemají žádné vazby. Neuron jedné vrstvy je však propojen s neurony vrstvy další.

Hopfieldova síť. Jednovrstvá síť, kde jsou neurony spojeny všechny navzájem. (Zelinka 2003, s. 42–43)

Kohonenova mapa je dvouvrstvá síť s úplným propojením neuronů mezi vazbami. (Volná 2013, s. 89)

Neuronové sítě nemají lokalizovanou informaci v nějaké přesné bázi dat, ale rozprostřenou v celé síti. To umožňuje fungování sítě v případě poškození sítě či dat. (Berka 2009, s. 17)

4.4 Fuzzy logika

Fuzzy logika se nazývá také neostrá. Bývá označovaná i jako mlhavá logika. Klasická logika pracuje na systému dvou protipólů - pravda x nepravda, 0 x 1. Fuzzy logika pracuje s neostrými vyjádřeními typu menší, větší, vlažný atd. Převádí neurčité – vágní výrazy do číselné podoby, řadí je do tříd podle tzv. stupně příslušnosti. Funkce příslušnosti je číslo, které znázorňuje, jak moc patří nějaký objekt do určité třídy. (Zelinka 2003, s. 55) Klasická množina obsahuje konkrétní prvky a další konkrétní prvky nikoliv. Fuzzy množina vznikne zobecněním klasické množiny, kde se pomocí charakteristické funkce, jejíž hodnoty jsou jakékoliv hodnoty z intervalu 0,1 určuje příslušnost prvku do fuzzy množiny. Ke vzniku fuzzy logiky přispěla potřeba popsat komplikované skutečnosti způsobem, jakým na to klasická matematika nestačila. Čím je systém komplikovanější, tím hůře se matematicky modeluje. Experti vyjadřovali své znalosti slovně a zdánlivě tedy velmi vágně. Např. v tak důležitém oboru jako je lékařství se u popisu stavu pacienta používá jazykové nestandardizované hodnocení typu časté horečky apod. Lotfi A. Zadeh jako první vyjádřil tato pojmenování jako **lingvistickou proměnnou**. Ta je svázána s konkrétním universem prvků. Jejimi hodnotami

jsou termíny jazyka, jehož výrazy jsou vágní např. vysoký, velmi vysoký atd. Tyto termíny se interpretují fuzzy množinami. (Veselý 2005, s. 169–171)

Tato logika byla obviňovaná z toho, že pouze využívá různých oblastí matematiky a honosí se módním názvem. (Brodský 1994) V současné době však bývá fuzzy logika uznávaná a má velmi široké využití. Používá se např. i v raketoplánech NASA. Systémy postavené na fuzzy logice tzv. fuzzy systémy neboli fuzzy inferenční systémy jsou v současnosti velmi rozšířené výpočetní systémy. Uplatňují se v automatickém řízení, expertních systémech, robotice, podpoře rozhodování, rozeznávání obrazů aj. Struktura systému se skládá databáze if then pravidel, slovníku definic termínů, které se vyskytují ve faktech a z dedukčního mechanismu. Do systému vstupují fakta a dedukční mechanismus pomocí if then pravidel odvodí závěr. (Veselý 2005, s. 178)

4.5 Distribuovaná umělá inteligence

Distribuovaná umělá inteligence se zabývá spoluprací jednoho či více systémů na řešení nějakého problému. Pracuje na podobném principu jako tým spolupracovníků. Žádný z nich většinou nemá informaci potřebnou pro úplné vyřešení nějakého komplikovaného úkolu. Tím, že spolupracují a důležité informace spolu sdílí, se pak může tým jako takový dobrat řešení problematického úkolu. Řešení úloh distribuované umělé inteligence se zabývá vhodným rozdělením úkolů mezi jednotlivé uzly. Cílem je vznik efektivního systému k řešení pro pevnou specifickou úlohu. **Agenty** pak bývají při řešení úlohy pevně svázané a celý postup bývá předdefinován. Chováním propojených prvků se zabývají **multiagentové systémy**. Zabývají se problémy vyplývajícími ze spolupráce agentů. Agentem mohou být počítačové systémy, senzor, robot či člověk. Multiagentové systémy se soustředí na spolupráci mezi samostatnými systémy. (Mařík et al. 1997, s. 142–143)

Druhy agentů jsou:

Reaktivní agent pouze reaguje na podněty z vnějšího světa podle své určené sady akcí. Výběr akce závisí na tom, jestli podněty splňují podmínky pro zahájení určité akce. Na základě podnětů může své reakce také měnit. Může komunikovat s ostatními.

Intencionální (deliberativní) agent se rozhoduje, jakými způsoby dosáhne svého cíle. Koordinuje své plány s plány ostatních agentů.

Sociální agent pracuje s explicitními modely ostatních agentů v rámci systému. Je schopen je měnit během plnění úkolů. (1997, s. 144)

4.6 Robotika

Robotika se zabývá studiem a konstrukcí robotů a podobných zařízení. Čerpá z umělé inteligence, ale i mechaniky, elektrotechniky, teorie řízení, měřicí techniky a dalších. Robotika bývá to první, co si většina lidí představí pod pojmem umělá inteligence. (Zelinka 2003, s. 22) Robot je stroj, který by měl být schopen manipulace s předměty a pohybu. Měl by být schopen získávat informace o svém prostředí a měl by ho být schopen sám ovlivňovat. Ne každý robot však tyto podmínky splňuje. (Šolc a Žalud 2002, s. 2) Mezinárodní organizace pro standardizaci definuje robota v normě ISO 8373 jako *„automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích“*. (Volná a Kotyrba 2013, s. 97)

Značný rozvoj robotů se rozpoutal v 60. letech převážně v USA. V roce 1968 vytvořil Stanfordský výzkumný institut SRI (Stanford Research Institute) robota Shakeyho, který byl do určité míry schopen orientace v prostředí. Modely robotů se dále zdokonalovaly a v 70. letech již vstoupily do masové výroby. První oblastí, kde našly uplatnění, byl automobilový průmysl. Tyto roboty prováděly činnosti jako svařování či lakování a jiné pro člověka nepřiliš bezpečné operace. V 80. letech přebírá první místo ve využití robotů Japonsko. V této dekádě byly stroje vybavovány čidly hmatu a počítačovým viděním. Roku 2000 představila Honda robota Asima a psího robota Aido. Tyto roboty se staly pop kulturními fenomény, ale od samostatně myslícího stroje dělí je a jejich následovníky ještě značná vzdálenost. (Šolc a Žalud 2002, s. 2–7) Nadějně výsledky výzkumu robotů exoskeletony - robotické kostry, které pomáhají handicapovaným v pohybu, se již začínají používat jako zdravotní pomůcky. (Siegel 2014) Vyvíjejí se záchranné roboty. Ty jsou v současnosti spíše prototypy ovládané na dálku lidskou obsluhou, ale lze odhadovat, že míra jejich samostatnosti do budoucna poroste. (Volná a Kotyrba 2013, s. 98)

Ve vývoji robotů i jiných systémů hraje velikou roli jejich schopnost vnímat okolí. Tuto schopnost umožňuje **strojové vidění**. Strojové vidění lze rozložit na:

1. **Získání digitálního obrazu** scannerem, družicovým snímačem či kamerou. Při převodu obrazu do digitální podoby vždy dochází ke ztrátě informací.
2. **Úpravu digitálního obrazu**. Úprava znamená použití různých filtrů a oprav k odstranění šumů obrazu.
3. **Rozložení na objekty** neboli segmentace. Zde dochází k ohraničení objektů a tím k redukci dat.
4. **Popis objektů**. Objekty se dají popsat různými způsoby. Např. řetězovým kódem (číselně popsaná pozice pixelu) či polygonální prezentací (popis pomocí vektorů).
5. **Klasifikaci jednotlivých objektů**. Určuje se do jaké třídy (typu ředkvička - zelenina aj.) patří daný objekt. Např. za pomoci fuzzy logiky.

Skok ve strojovém vidění byl možný díky použití fraktální geometrie, jež zásadně zmenšuje velikost dat potřebnou k zaznamenání obrázku a práci s ním. (Zelinka 2003, s. 82–86)

Rozvoj se týká i strojového slyšení. Ovládání hlasem je dnes poměrně rozšířené a počítače dokážou čím dál lépe překonávat problémy v porozumění hlasu. Přestože porozumění mluvenému slovu není vždy zcela dokonalé, chybovost se i díky trénování na velkém objemu dat neustále snižuje. (Xuedong Huang et al. 2014, s. 100) Rozvíjí se také detekce pohybu a gest. Nejnověji se objevila možnost číst emoci podle pohybů svalů v obličeji. Přestože tato technologie ještě není dokonalá, objevují se etické otázky, zda takovýto výzkum nemůže přispět k narušování soukromí a jakým způsobem zabránit zneužití takových technologií. (Dormehl 2014)

4.7 Evoluční algoritmy

Evolucí inspirovaná umělá inteligence pracuje na principu modelování přirozeného výběru a genetiky. Její základní techniky jsou genetické algoritmy, evoluční strategie a genetické programování. Genetické algoritmy a evoluční strategie slouží k řešení optimalizačních úloh. (Konečný a Trenz 2010, s. 12)

Roku 1975 John Holland představil první evoluční model **genetického algoritmu**. Geny reprezentovaly nuly a jedničky. Vytvořil proces, který představoval přenos umělých chromozomů jednoho jedince k dalším chromozomům. Tento přenos vzniká za stejných podmínek jako klasická biologická evoluce a chromozomy podléhají procesům výběru, křížení a mutace. Tedy dochází k výměnám genů a postupnému zanikání slabších populací na úkor silnějších. U optimálních podob je možné vývoj ukončit. Ne všechny genetické algoritmy fungují přesně jako tento z roku 1975. Od té doby se objevila řada jiných řešení. (2010, s. 123–124) **Genetické programování** se začalo rozvíjet v 90. letech. Vychází z principu genetického algoritmu, ale liší se od něj tím, že je určeno pro automatickou syntézu programů, algoritmů či rozhodovacích stromů, a také tím, že na místo chromozomů používá častěji stromové struktury. (Mařík et al. 2003, s. 128) **Evoluční strategie** je metoda napodobování evoluce. Poprvé byla využita při studijním experimentu v 60. letech, kdy studenti náhodně kombinovali dvojice konstrukcí převodovek, aby našli konstrukci s nejlepšími vlastnostmi. (Mařík et al. 2001, s. 117)

5 VÝVOJ PARADIGMAT UMĚLÉ INTELIGENCE

Vývoj paradigmat v umělé inteligenci nesouzní s představou pevných a dramaticky se střídajících paradigmat Thomase Kuhna. Přestože se jednotlivá paradigmata měnila a některá období nesou některé znaky vědecké revoluce, jako např. období vystřízlivění z raného období umělé inteligence, či zklamání po přehnaných prvotních nadějích vkládaných do neuronových sítí, přeliv trendů ve výzkumu umělé inteligence dává spíše za pravdu modernímu přístupu k paradigmátům. Tedy jako k proměnlivým a někdy prolínajícím se názorovým proudům. Přestože byla identifikována základní odvětví umělé inteligence, otázka paradigmat v tomto oboru není záležitost celkové shody a může se měnit podle úhlu pohledu na cíl či inspiraci jednotlivých etap. Patrně nejznámější český vědecký teoretik zabývající se umělou inteligencí Ivan Havel řadí symbolicko-algoritmický přístup do tradičních paradigmat, rozlišuje neuronové sítě či biologický přístup. Konekcionismus neuronových sítí řadí do alternativních moderních směrů umělé inteligence. (Mařík et al. 2001, s. 20) Symbolické paradigma se všeobecně označuje za klasické, ale ve skutečnosti vznikaly oba hlavní směry umělé inteligence ve stejnou dobu. Tento přístup byl natolik silný, že se ostatní přístupy v některých zdrojích označují také jako subsymbolické.

Tento pohled reflektuje umělou inteligenci od jejího moderního zrodu v roce 1956, ale podíváme-li se do 19. století a starší historie, můžeme pozorovat, že se již mnoho filozofů, biologů a matematiků věnovalo analogii těla a mozku jako stroje nebo typu elektronického systému, což je představa, jež stojí za moderními neuronovými sítěmi. Tradiční je tedy z historického pohledu inspirace biologií. Z nápodoby samotného lidského myšlení se však inspirovalo symbolické paradigma. Stejně tak během 19. století vznikaly první programovatelné stroje, které jsou předchůdci algoritmického přístupu. Je tedy otázka, jakým úhlem pohledu, jakým paradigmatem se na vědecký výzkum podíváme. I historii lze vykládat různými paradigmaty.

Popis jednotlivých paradigmat se zakládá na moderním přístupu k paradigmátům, kde se myšlenky prolínají, a přestože jeden proud může mít v určitém čase hlavní slovo, ostatní směry výzkumu mohou paralelně pokračovat a možná se dočkat nového rozkvětu. Pro pochopení paradigmat umělé inteligence je přínosné shrnout různé modely rozdělení umělé inteligence a definovat opakující se jevy v historii umělé inteligence.

Při zkoumání vývoje paradigmat umělé inteligence narazíme na některé opakující se mechanismy. Zjednodušeně řečeno vidíme, jak se střídá nadšení a zklamání, štedrost v investicích do výzkumu s jejich odlivem. Střídá se vizionářské nadšení a střídme ukončování bohatě dotovaných projektů. Vývoj se však přesto v žádné z těchto fází nezastavil a aplikace umělé inteligence dnes běžně používáme. Pochopení těchto fází napomůže rozebrání pojmů AI winter, AI efekt a Hype křivka technologického vývoje.

5.1 AI efekt

Přestože má v názvu umělou inteligenci, týká se AI efekt psychologického vnímání reality. Jedná se o pocit, že umělá inteligence je neustále záležitostí budoucího vývoje. Z části je za ním malé povědomí o rozdílu mezi silnou a slabou umělou inteligencí.¹ Silná umělá inteligence, která se dá popsat i jako stroj blížící se svou osobností člověku, je však stále spíše předmětem filozofických debat a tzv. slabá umělá inteligence jako by nebyla tou pravou umělou inteligencí. Ocenění se jí dostává v době, kdy se o ní uvažuje nebo je cílem neúspěšného vědeckého bádání. Jakmile je však dosažena nebo dokonce rozšířena do každodenního života, přestává se za umělou inteligenci považovat. Ve skutečnosti však již značnou dobu s umělou inteligencí žijeme, ať už nás porazí v šachu nebo ji využívá aplikace v chytrém mobilním telefonu. (Hráček 2013)

5.2 AI winter

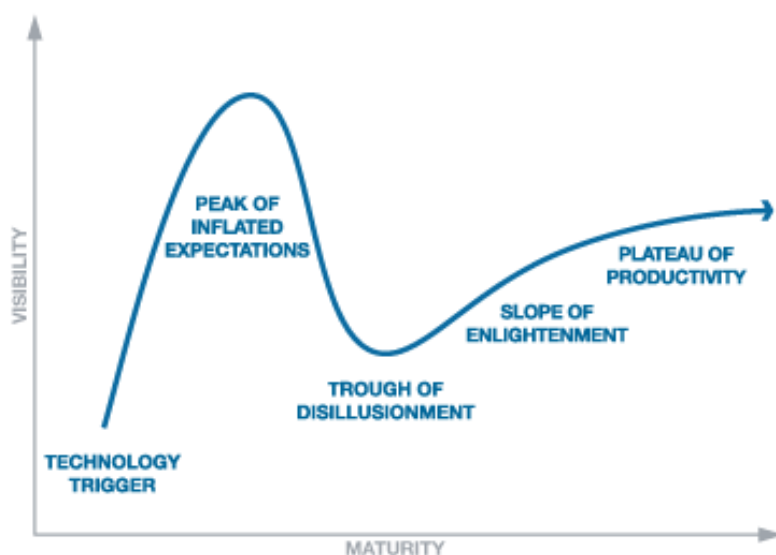
AI winter, v češtině UI zima, je pojem označující období úpadku a zklamání na poli umělé inteligence (Howe 2007). Nemusí znamenat, že by celý vývoj nějakého výzkumu byl slepou uličkou, ale často pouze v dané době nesplnil přílišná očekávání, a to vědecká nebo ještě větší měrou s tím spojená investiční. Vědci nezdřídka stále věřili ve své cíle, ale investoři přestali projektu důvěřovat. Ztráta důvěry se mohla týkat i veřejnosti. Umělá inteligence zažívala období, kdy byla tzv. v módě a kdy ji v popularitě vystřídala jiná témata. Zim umělé inteligence bylo několik od menších po větší. Období, se kterým se toto období ztotožňuje nejčastěji, je konec 80. a začátek 90. let, kdy došlo k útlumu investičního boomu

¹ Silnou a slabou inteligenci definuje tato práce v podkapitole 5.4 Základní rozdělení umělé inteligence

do expertních systémů, neuronových sítí a počítačů 5. generace. (Russel a Norvig 2009, s. 24)
Z pohledu hype křivky pokrývá AI winter období deziluze.

5.3 Hype křivka technologického vývoje

Tato křivka je analogií procesu očekávání, zklamání a přijetí reálných výsledků výzkumu. Hype křivku (viz obrázek 1) představila v roce 1995 společnost Gartner. K modelům životního cyklu produktu přidává křivku, která znázorňuje vztah lidí k technologii. Horizontální osa znázorňuje pozici v životním cyklu *vyspělost* (maturity) a vertikální osa úroveň *publicity* (visibility) této technologie. Fáze této křivky jsou *start technologie* (technology trigger), kdy nový objev strhává pozornost oboru i médií, *vrchol očekávání* (peak of inflated expectations) charakterizovaný přehnaným nadšením a nerealistickými očekáváním. Během vrcholu očekávání často vzniká bublina, kterou posilují autoři technologií. Při implementaci pak dochází k většímu počtu nezdarů než úspěchů. Ve fázi *deziluze* (through of disillusionment) klesá o technologii zájem a její popularita se ztrácí i z médií. Fáze *návrat k realitě* (slope of enlightenment) koriguje očekávání i zklamání a ukazuje skutečné možnosti technologie. Konečnou fází je *dospělost* (plateau of productivity), kdy se ukazuje přínos technologie v praxi a používá se další generace produktu. (Dohnal a Příklenk 2004, s. 316; Gartner 2014b) Jak dokládá Mark Raskino ze společnosti Gartner, pouze malá část technologií po fázi deziluze opravdu zanikne, většinou si pouze najde uplatnění na vzhledem k očekávání skromnější části trhu. (Raskino 2014)



Obrázek 1 Hype křivka technologického vývoje (Gartner 2014a)

Hype křivka poměrně přesně reprezentuje proces, kterým prošlo mnoho projektů umělé inteligence. Umělá inteligence s sebou mnoho let nesla jistou výlučnost. Dlouhou dobu jakoby stála mimo klasickou vědní metodologii a příliš důvěřovala odvážným předpovědím vědců, na jejichž základě putovaly do výzkumu investice. (Russel a Norvig 2009, s. 25) Umělé inteligenci se dlouho dovoľovalo více volnosti v odvážných předpovědích a částečně ji zkrotilo až několik UI zim.

5.4 Základní rozdělení umělé inteligence

Rozdělení umělé inteligence není jednotné a stále dochází ke změnám podle toho, jak se mění pohled na tento obor. Ucelená teorie oboru může být snadno napadnutelná a některé obory umělé inteligence spolu souvisí spíše vzdáleně. Rozdělení vzniklo několik a z některých je patrné, že si jej teoretici přizpůsobili svému osobnímu názoru a preferencím, a také tomu, na jakou část umělé inteligence byla v daném období upřena pozornost. Vzhledem k volnějšímu pojetí paradigmat je možné u některých dělení slovo paradigma nahradit slovem přístup.

Umělou inteligenci lze rozdělit na přístup inspirovaný **biologií** či **logický přístup** podle toho, zda se daný systém inspiroval funkcí živého organismu (neuronové sítě) nebo spíše některými poznatky z psychologie a logiky. Toto dělení vzniklo během historie umělé inteligence, podle toho, kde vědci nacházeli inspirační zdroje. Inspirace živými organismy je jasná např. v neuronových sítích. Biologický přístup reprezentoval během historie umělé inteligence nejvýrazněji neuronový přístup, ale patří mezi ně např. evoluční algoritmy, roboty založené na chování, technika optimalizace hejnem částic a další. Druhý přístup se označuje pojmem **logický (symbolický) přístup**. (Mařík et al. 2001, s. 20–24; Floreano a Mattiussi 2008; Teahan 2012)

Časté je dělení na klasickou a moderní umělou inteligenci. Obory, které se do každé větve řadí, se ale mohou měnit podle toho, jaký pohled na historii zrovna v oblasti umělé inteligence převládá. Např. Jeff Hawkins (2013), který se zabývá neurovědou, nazývá symbolický přístup jednoduše ne neurovědní. Ale častěji se lze naopak setkat s označením jiných přístupů než symbolických přístupů jako subsymbolických.

V nejvíce pramenech se do **klasického přístupu** zařazují řešení úloh, dokazování vět a formalizace znalostí a do **moderního přístupu** neuronové sítě, fuzzy logika, modelování

evoluce a další obory. Klasický přístup se označuje také jako GOFAI (good old fashioned artificial intelligence). Toto dělení je ovšem napadnutelné, neboť výzkum neuronových sítí probíhal, byť méně úspěšně, souběžně se začátkem symbolického paradigmatu a neuronové síť se tak zařazují až na základě jejich návratu v 80. letech. Pojem klasický a moderní je relativní, a proto může být zařazení některých položek věcí diskuze. Pro náplň moderního přístupu je vhodnější výraz soft computing, který se objevil v 90. letech a zahrnuje obory zabývající se zpracováním neurčitostí zpracování vágnosti a nejistoty (tedy i např. bayesovské síť a využití fuzzy logiky), neuronové síť a evoluce. (Hájek 2000, s. 683–685)

Jiné pojetí přidává ke klasickému a modernímu rozdělení ještě filozoficko-futuristické, které se zabývá vizemi a filozofickými či etickými otázkami. (Pěchoušek 1999)

Z větší části zaměnitelné se symbolickým přístupem je programovací paradigma, jehož původ spočívá v díle Alana Turinga. Toto paradigma spočívá v usuzování (od programu Logic Theorist Simona a Newella k expertním systémům), fyzickém vnímání (počítačové vidění a porozumění jazyku) a fyzické akci (vývoj robotů). (Muggleton 2012, s. 10)

Vyskytuje se rovněž rozdělení umělé inteligence, které dělí umělou inteligenci na **tři základní proudy - symbolický funkcionalismus, konekcionismus a robotický funkcionalismus**. Symbolický funkcionalismus zahrnuje reprezentaci znalostí a inteligentní prohledávání stavového prostoru. Je založen na funkcionalistické hypotéze a hypotéze fyzikálního systému symbolů. Konekcionismus těží ze spojení velkého počtu jednotek a mezi jeho zástupce patří neuronové síť. Robotický funkcionalismus připomíná behavioristický přístup v psychologii. Hodnotí chování jako inteligentní podle vztahu mezi systémem, prostředím a úlohou. Bude-li se agent ve vztahu k nim chovat inteligentně, je považován za inteligentního. (Pěchoušek 1999; Volná 2013, s. 8)

Vidíme, že různá rozdělení umělé inteligence se prolínají. Rozdělení oboru může být analogií k paradigmatům, jak je vidět na podobě členění paradigmat s dělením oboru podle Ivana Havla. Rozděluje paradigmatu na tradiční a alternativní paradigmatu umělé inteligence **Tradiční paradigma umělé inteligence** se zabývají zejména algoritmičnou stránkou procesů. Lze se s ním setkat pod označením symbolické, logicko-symbolické, symbolicko - reprezentační, algoritmičké, komputacionalistické. **Alternativní paradigmatu umělé inteligence** jsou moderní směry umělé inteligence, které se často zabývají otázkou relevance

použité architektury technického systému - počítače. Řadí se mezi ně expertní systémy, neuronové sítě (konekcionismus), multiagentní systémy (distribuovaná umělá inteligence), fuzzy logika. (Mařík et al. 2001, s. 20) V této práci používám označení symbolické paradigma, které je v odborných pramenech nejčastější. Nejvýznamnější protipól tohoto paradigmat je paradigma konekcionistické. (2001, s. 37) V 90. letech lze vznikla v reakci na splasknutí bubliny umělé inteligence 80. let nová vlna, která s sebou nese v některých pramenech označení nového paradigmatu. (Olazaran 1996, s. 641)

Důležité, přestože spíše teoretické až filozofické dělení je na **silnou a slabou umělou inteligenci**. Slabá umělá inteligence se nazývá též inteligence zaměřená na řešení problémů. Silná umělá inteligence je v současnosti známá i pod pojmem AGI (artificial general intelligence). Přestože i zde lze najít odlišné přístupy k oddělení těchto pojmů, za silnou umělou inteligenci se všeobecně považuje velice rozvinutý model lidské mysli, blížící se až k samostatnému jedinci. Slabá umělá inteligence se snaží vytvořit stroj, který je schopen inteligentního chování. Silná umělá inteligence sní o stroji se skutečnou myslí. (Russel a Norvig 2009, s. 1020) Idea vytvoření něčeho blížícího se silné umělé inteligenci byla snem rané umělé inteligence. Zakladatelé oboru se domnívali, že komputalizovat procesy lidské mysli ve velkém měřítku bude mnohem jednodušší, než jak se později ukázalo. Přesto není ani dnes idea silné umělé inteligence zapomenuta a nevzdává se jí ani mnoho současných vědců, byť jsou již ve svých odhadech opatrnější.

José Mira Mira uvádí, že v současné době jsme dosáhli koexistence paradigmat symbolického, konekcionistického, situačního a hybridního. Poukazuje na tři zakladatelská díla třech paradigmat. Pro **symbolické** je to *Povaha vysvětlení* (The Nature of Explanation) z roku 1943 od Kennetha Craika, ve kterém tento psycholog popsal mozek jako komplexní stroj, pracující za pomoci symbolů. Pro **konekcionistické** *Logický výpočet idejí náležející nervové aktivitě* (A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity) z roku 1943 McCullocha a Pittse, kde autoři představili svůj model neuronu. Pro **situační** *Chování, účel a teleologie* (Behavior, Purpose and Teleology) z roku 1943 Rosenbluetha, Wienera a Bigelowa, kde autoři popsali situační paradigma založené na zpětné vazbě. (Mira 2008, s. 674) Paradigmata, jak jej popisuje Mira, nejsou všeobecně přijímaná. Za zakladatele symbolického paradigmatu je považován spíše Alan Turing či John McCarthy. Dílo Kennetha Craika není tak známé. Sporné je tzv. situační paradigma, které svou charakteristikou

popisuje kybernetiku. Kybernetika nebývá považována za podobor či jedno z paradigmat umělé inteligence, naopak umělá inteligence je někdy označována za podobor kybernetiky. Situační paradigma stejně jako jiné zde zmíněné přístupy založené na chování a interakci se vztahují k výzkumu Rodneyho Brookse v rámci nové vlny umělé inteligence. V současné době jsou však tyto přístupy mnohem více provázané. Provázanost reprezentuje poslední **hybridní** paradigma. (2008, s. 671) V této práci budu sledovat vývoj symbolického a konekcionistického paradigmatu a nových směrů umělé inteligence.

5.5 Symbolické paradigma

Jak je popsáno výše, další pojmenování tohoto paradigmatu může být logické, logicko-symbolické, symbolicko-reprezentační, algoritmické, komputacionalistické. (Mařík et al. 2001, s. 20). Jeho základem je za pomoci symbolů, algoritmů vyjádřit činnosti, které jsou podstatou umělé inteligence. Symbolické paradigma stojí na základech myšlenek Gottfrieda Wilhelma Leibnize, prvních automatů stvořených v 18. století, o nichž je zmínka v kapitole věnující se historii umělé inteligence, a počítačích strojů Charles Babbage. Ve 20. století je největší inspirací pro toto paradigma práce Alan Turinga. (Abraham 2002, s. 18)

Symbolický přístup charakterizuje sekvenční logika a dedukce a malá tolerance k šumu. (Bečev 2013, s. 22) Na rozdíl od konekcionismu se jeho aplikace hůře učí, ale na druhou stranu už na začátku hodně umí. Kvůli tomu ovšem bývají zaměřené na nějaký konkrétní úkol. (Hawkins 2013)

5.5.1 Předchůdci symbolického paradigmatu

Ideovým zázemím pro symbolická paradigma a zdroj inspirace pro jeho představitele je dílo Gottfrieda Wilhelma Leibnize (1646 - 1716) a jeho myšlenka, že každá činnost může být naprosto jednoznačně popsána určitým počtem výrazů. (Abraham 2002, s. 18). Mezníkem v rozvoji komplikovanějších strojů a předchůdce počítačů byl první programovatelný stroj anglického matematika a vynálezce Charlese Babbage (1791 - 1871). Jeho vynález splňoval definici umělé inteligence tím, že se snažil činit inteligentní rozhodnutí, jaké by učinil i člověk. Babbage se pokoušel vytvořit stroj, jenž by byl schopen počítat logaritmické tabulky, a nahradit tak chybující lidské pracovníky. Později přišel Babbage s myšlenkou stavby ještě komplikovanějšího stroje tzv. analytického stroje, pro který sestavil i vlastní

konstrukční zápis. Přestože byl projekt diferenčního stroje finančně podporován jeho rodinou i vládou, nakonec se ho kvůli rozporům s hlavním mechanikem a přibývajícím finančním problémům nepodařilo dotáhnout do úspěšného konce a roku 1834 nechal tento projekt zastavit sám Babbage. (Naumann 2009, s. 94–102) Ačkoliv stroj sám nedokončil, plány na něj později propagoval a ideje diferenčního i analytického stroje stály na počátku dějin počítačů. Presentace jeho díla, které se věnoval v italském Turíně, byla zapsána Luigem Fredericem Menabreaem. Toto shrnutí bylo později přeloženo do angličtiny a rozšířeno Augustou Adou Byronovou (1815-1852) pod názvem Sketch of Analytical Engine. Byronová v této práci píše: „*Analytický stroj si nečiní ani nejmenší nárok něco vytvořit. Může dělat to, co mu jsme schopni přikázat ... Není schopen předjímat nějaké analytické relace nebo pravdy. Jeho působnost je omezená na to, aby nám asistoval při tom, co už je nám dobře známo.*“ (Husbands et al. 2008, s. 5) Tato poznámka potvrzuje fakt, že Babbage se svými vynálezy nesnažil překonat lidskou inteligenci, přestože měl o přesnosti lidských zaměstnanců pochyby, ale pouze vytvořit stroj schopný toho, co už dokáže člověk. Augusta Byronová se rovněž zmiňuje o myšlence, že by stroj mohl být schopen tvorby uměleckého díla. Analytical engine by podle ní mohl skládat hudbu či vytvářet grafiku, což je myšlenka, která se blíží představě silné umělé inteligence. (2008, s. 5)

5.5.2 Alan Turing

Jednou z ikonických postav umělé inteligence byl britský vědec Alan Turing. Tento matematik a logik, který zásadně přispěl k rozluštění německých tajných komunikačních kódů používaných v bojích 2. světové války, se často pokládá za otce umělé inteligence, přestože zemřel dva roky před jejím oficiálním pojmenováním.

V roce 1936 se ve článku *O počitatelných číslech s aplikací na Entscheidungsproblem* (On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem) pokusil odpovědět na tzv. Entscheidungsproblem, což je jedna ze tří otázek, kterou položil matematik David Hilbert roku 1928. Jeho otázkou bylo, zda je matematika rozhodnutelná v tom smyslu, že existuje definitivní metoda, jak rozhodnout, je-li dané tvrzení pravdivé či nepravdivé. Kromě Turinga dokázali na tuto otázku odpovědět negativně i Kurt Gödel a Alonzo Church. Turing použil metody modelu lidského usuzování a vytvořil teoretický model stroje, který modeloval chování lidského matematika, jenž za pomoci tužky a papíru zpracovává řadu

instrukcí. Tuto modelovou představu rozšířil do tzv. univerzálního stroje, který by mohl napodobovat všechny ostatní stroje. Ani takovýto stroj by nemohl kladně vyřešit Entscheidungsproblem, protože některá čísla nejdou konečným způsobem zapsat. (Muggleton 2012, s. 1–2) Tento stroj je známý dnes pod pojmem **Turingův stroj**, byl velice jednoduchý. Skládal se ze vstupní pásky, výstupní pásky a ústředního procesoru, který je schopen provádět přesně určenou sadu operací. (Kaku 2010, s. 106) Byl by schopen vyřešit všechny problémy, které by šlo zapsat - komputalizovat. Tedy všechny problémy, které lze řešit algoritmicky, může zpracovat stroj. Turing tak vytvořil teoretický základ pro vývoj teorie automatů a počítačů. (Naumann 2009, s. 371) Turing předpokládal, že lidská paměť je omezená a lidská mysl potřebuje pro efektivní myšlení konečná čísla. (Husbands et al. 2008, s. 80) Navazoval na dílo Charlese Babbage a rozvíjel Leibnizovy teorie o vyčíslitelnosti příkazů tím, že zpracovával jednoznačné nevágní příkazy. (Abraham 2002, s. 18)

Turingovy myšlenky se blíží představě silné umělé inteligence. Mladý Turing byl fascinován fungováním mozku a zabýval se myšlenkou, zda neurčitost v kvantové mechanice může odhalit tajemství svobodné vůle a vědomí. (Husbands et al. 2008, s. 85) Otázka, jestli mozek řízený elektrickými impulzy umožňuje existenci svobodné vůle, je filozofickou otázkou, o které se polemizuje dodnes.

Turing také přispěl k základům matematické logiky. Navázal na Gödelův teorém, podle kterého v aritmetice existují pravdivá tvrzení, která nelze dokázat. Turing poukázal na to, že není možné stanovit, zda Turingův stroj nebude pro některé úkoly potřebovat nekonečně času. Nekonečně dlouhý výpočet pak znamená, že tento úkol není spočitatelný, přestože by byl vykonán na dokonalém stroji. (Kaku 2010, s. 106) Turing se později vyjádřil, že nedokonalost může být i užitečná a žádaná. Zastával názor, že výborného hráče šachu dělá i možnost chybovat. Později došel k názoru, že i toto chování je komputalizovatelné. V roce 1951 v rozhlasovém rozhovoru poněkud mírní své představy o komputalizovatelnosti, když prohlašuje, že komputalizovat lze jen takové jevy, které jsou předvídatelné. (Holland a Husbands 2011, s. 80)

V roce 1950 se v pojednání *Výpočetní stroje a inteligence* (Computing machinery and intelligence) pokusil odpovědět na otázku, zda stroje mohou myslet. Jako způsob rozhodnutí o inteligenci stroje navrhuje imitační hru dnes známou jako **Turingův test**. Při tomto testu by měl být v jedné místnosti umístěn člověk a ve druhé místnosti stroj s jiným člověkem.

Testující klade otázky, odpovídá mu buď člověk nebo stroj (odpovědi jsou vytištěné). Jestliže testující člověk nedokáže rozlišit odpovědi od stroje a odpovědi od člověka, pak stroj složil Turingův test. (Mařík et al. 2001, s. 34). Turingův test byl mnohokrát kritizován. Jedním z nejznámějších protiargumentů se stal **argument čínského pokoje** Johna Searla z roku 1980. Tento argument říká, že samotná schopnost zodpovězení otázky nestačí na to, aby dokázala skutečné porozumění otázce. A právě to se od umělé inteligence očekává. Argument čínského pokoje představuje myšlenku místnosti plné obrovského množství textů v čínském obrázkovém písmu. V místnosti je člověk, který čínsky neumí, ale ví, kde má odpovědi hledat. Za předpokladu, že by měl neomezené množství času, by mohl vzbudit dojem, že čínsky rozumí, a v Turingově testu by mohl uspět. Přitom by čínsky neuměl, ale pouze mechanicky tedy „jako stroj“ by dané odpovědi vyhledal. (Damper 2006, s. 164)

V poslední části své práce srovnal Turing tři způsoby, jimiž je možné docílit inteligentního stroje - programováním, strojovým učením a inteligencí za použití logiky, pravděpodobnosti a základních znalostí. Za nejslibnější pokládal poslední jmenovaný. Turing předpokládal, že dojde k nárůstu paměťových možností počítačů a stroje by se mohly učit samy, tak jako se učí mozek dítěte. Toto učení by probíhalo tak, že se stroji budou předkládat „výchovné“ informace metodou odměny a trestu, ale symbolickým jazykem bez emocí. Tento symbolický jazyk by snížil počet příkladů nutných k učení. Jeho myšlenky poskytly základ nejen rozvoji počítačů, ale též symbolického paradigmatu umělé inteligence. Turingův přístup je někdy nazýván též programovací. (Muggleton 2012, s. 5–10)

5.5.3 Kybernetika

Počátek umělé inteligence byl s kybernetikou silně provázán. Z jistého úhlu pohledu byla umělá inteligence původně jejím podoborem a někteří zástupci umělé inteligence ji takto přímo označují. (Kline 2011, s. 6) Kybernetika se šíří své definice s umělou inteligencí prolíná i dnes. Norbert Wiener, pokládaný za otce kybernetiky, v zakladatelském díle oboru *Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích* (Cybernetics or the Control and Communication in the Animal and the Machine) z roku 1948 píše, že kybernetika se zabývá regulační a sdělovací teorií. Kybernetika je věda o složitých systémech a procesech, jejich modelování, řízení a přenosu informace. (Srovnal 2008, s. 5) Teoretická kybernetika je mezioborová věda, která se zabývá nejen technikou, ale může se dotýkat i psychologie

či filozofie. Zabývá se více procesy než samotnými jednotkami. Její stěžejním zájmem je zpětná vazba, informace, model. (ZČU Katedra kybernetiky © 2014)

Teoretická kybernetika studuje obecné vlastnosti a chování systémů. Z této definice je zřejmé, že některé oblasti umělé inteligence pod tuto definici spadají a často můžeme zaměnit, kdo je v historii předchůdce kybernetiky a kdo umělé inteligence. Podle některých definic se umělá inteligence řadí do tzv. **aplikované kybernetiky**, kam spadají obzvláště strojové vnímání a učení, multiagentní systémy, robotika, modelování neuronových sítí, konekcionismus a další. Svou definicí je kybernetika blíže konekcionistickému paradigmatu umělé inteligence, ale tento obor se vyhýbá jednoduchému zařazení. Zabývat se může i vztahem člověk - stroj nebo člověk - člověk. (Srovnal 2008, s. 5) Tedy i vztahem programu založeného na algoritmickém paradigmatu, člověka, který ho používá, a dalšího člověka, se kterým komunikuje.

Podle Marvina Minského došlo vlivem vynálezu digitálního počítače k rozdělení kybernetiky na tři větve: malé samoorganizační systémy (reprezentované Rossem Ashbym), simulaci lidského myšlení (reprezentované Allenem Newellem a Herbertem A. Simonem) a konečně na umělou inteligenci (reprezentované Marvinem Minsky a Johnem McCarthy). Allen Newell se domníval, že kybernetika se v 50. letech postupně rozdělila na umělou inteligenci kvůli sporům symbolistického a konekcionistického přístupu a sporům přívrženců psychologie a neuropsychologie. (Kline 2011, s. 6) Je zřejmé, že není snadné nalézt definitivní kategorie, do kterých různé směry umělé inteligence zařadit.

Umělou inteligenci ovlivnila i na kybernetiku zaměřená skupina amerických a britských vědců - neurobiologů, inženýrů, matematiků a fyziků Ratio Club. Jedním z jejich nejvýraznějších členů byl Ross Ashby a jejich setkání se zúčastnil také Warren McCulloch. Tento převážně britský klub se scházel čtyři roky od roku 1949 (několik měsíců před vydáním Wienerovy *Kybernetiky* a publikováním teorie informace Clauda Shannona). (Holland a Husbands 2011, s. 1).

5.5.4 Logic Theorist

V roce 1956 spolu Simon Newell a Herbert A. Simon sepsali program Logic Theorist, který se dá pokládat za první program umělé inteligence. V něm zavedli tzv. rozhodovací strom - graf, jehož konečné větve ukazovaly pravděpodobnost správného rozhodnutí,

a program tímto způsobem dokázal doporučit procentuálně co nejvíce správné řešení. Pracoval na principu heuristiky. (Berka 1998, s. 15) Jelikož zadání všech možných informací do výpočtu správného řešení by bylo příliš časově náročné na člověka i stroj, je výnosnější zvolit to nejlepší řešení, které dokážeme jednoduše vybrat, a neztrácet iracionální množství času a práce na hledání dokonalého řešení. Tento postup je nejblíže reálnému rozhodování člověka. Princip Logic Theorist se stal základem pro programy umělé inteligence. (Russel a Norvig 2009, s. 109)

5.5.5 Darmouthská konference

Darmouthská konference je pokládána za oficiální zrod oboru, přestože dnes se nezřídka její vliv pokládá za přeceněný a za její největší zásluhu je považován zrod samotného termínu umělá inteligence. Tento pojem navrhl John McCarthy jako název knihy, která měla po konferenci vzniknout, protože původní název navržený Claudem Shannonem považoval za příliš konzervativní. (Kline 2011, s. 1) Shannon se na problematiku díval z širšího hlediska a nepovažoval za nutné umělou inteligenci oddělovat od kybernetiky a dalších oborů. (2011, s. 13) Shannon navazoval na osvícenskou myšlenku, že živý organismus je typ mechanického stroje. Na otázku, zda stroje mohou myslet, odpověděl: „Ovšemže ano. Já přece myslím. Nebo ne?“ (Kaku 2010, s. 109) Mladý McCarthy byl ovšem mnohem radikálnější a cítil potřebu se vůči kybernetice vymezit. Volbu vlastního termínu zdůvodnil slovy: „Jedním z důvodů, proč jsem vymyslel termín *umělá inteligence*, bylo, že jsem chtěl uniknout asociaci s kybernetikou. Ta asociuje zpětnou vazbu, a to jsem považoval za nepatřičné. Chtěl jsem se vyhnout tomu, abych ji musel odmítnout nebo akceptovat. Bud' mít Wienera za svého guru, nebo se s ním muset přít.“ (Kline 2011, s. 1, 13)

5.5.5.1 Pozadí vzniku Darmouthské konference

Konferenci předcházela práce na knize *Studie o automatech* (Automata Studies), která shromáždila příspěvky o informační vědě od nejdůležitějších vědců té doby. Výběr textů začal roku 1953, ale kniha vyšla až v roce 1956. Svoje příspěvky v ní uveřejnili např. Ross Ashby, John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon a John von Neumann. Kolekce příspěvků byla rozdělena do tří částí na konečný automat, Turingův stroj a syntézu automatu. John McCarthy byl při práci na knize, kterou redigoval spolu s Claudem Shannonem, zklamán, protože nedávala více prostoru otázce možnosti inteligentního chování

strojů. McCarthy v roce 2006 na 50. výročí konference vysvětlil, že chtěl: *“...aby se na konferenci vyložily karty na stůl a ujasnilo se směřování oboru* (2011, s. 8)

Kromě pouhého výběru textů chtěl McCarthy uskutečnit skutečné setkání vědců. Nejprve žádal Rockefellerovou nadaci o financování šest týdnů trvající konference, kde by deset účastníků pracovalo na teorii mozku a automatů. Vyjednávání bylo poměrně složité. Nadace by byla dle slov svého zástupce Warrena Weavera více nakloněna financování výzkumu v rámci svého oddělení věnujícího se medicíně, kdyby se konference měla více věnovat studiím spojených s fungováním lidského mozku.² Schválení příspěvku nakonec napomohla podpora respektovaného Clauda Shannona (2011, s. 9)

Oficiální název konference zněl The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Konference trvala šest týdnů a konala se na Darmouthské univerzitě v Hanoveru. Jejím hlavní organizátorem byl John McCarthy a podílelo se na ní oficiálně deset účastníků: Herb Gerlertner, John McCarthy, Marvin Minsky, Trenchard More, Allen Newell, Herbert Simon, Nathaniel Rochester, Arthur Samuel, Oliver Selfridge, Ray Solomonoff. Jako návštěvníci se dále zúčastnili Alex Bernstein z IBM, Bernard Widrow, William A. Clark and Belmont Farley. Příspěvek přednesli McCarthy, Simon, Newell, Rochester, Minsky a Solomonoff. Během přípravy konference zařadil McCarthy do témat setkání sedm okruhů: Automatické počítače (jak může být počítač naprogramován, aby použil jazyk), neuronové sítě, teorie uspořádání výpočtu, sebezdokonalování, abstraktní myšlení a nahodilost a kreativitu. McCarthyho téma zabývající se jazykem a počítači zastupovalo oblast symbolického přístupu. (2011, s. 10)

5.5.5.2 Cíl konference

Cíl konference popsal McCarthy svými slovy takto: *„Navrhujeme, aby se v létě 1956 na Darmouthské univerzitě v Hanoveru odehrála dvouměsíční konference, kde se bude deset mužů věnovat studiu umělé inteligence. Studium bude probíhat na základě předpokladu, že každý aspekt učení nebo jiná stránka inteligence může být popsán natolik přesně, že může*

² Warren Weaver se domníval, že jde pouze o: *„...snahu dvou tří lidí, kteří si hodlají vykládat pár dnů o různých tématech informační teorie na náklady někoho jiného”*. (Kline 2011, s. 9)

být utvořen stroj, který jej bude schopen nasimulovat. Pokusíme se najít způsob, jakým by mohly stroje používat jazyk, být schopni abstraktního myšlení a konceptů, řešit problémy, které dnes dokáže vyřešit pouze člověk a vylepšovat sami sebe. Domníváme se, že v těchto problémech by mohl být učiněn zásadní pokrok, kdyby na něm během léta pracovala pečlivě vybraná skupina vědců.“ To jak byla tato očekávání z dnešního pohledu naivní, dokazuje to, že jsme se mnohým cílům konference nepřiblížili ani o padesát let později.

Přestože je konference vnímána jako vítězství symbolického paradigmatu, mezi účastníky byli zastoupeni i významní zastupitelé konekcionistického přístupu. Mezi zástupce symbolického proudu se řadí John McCarthy, matematik, který se zabýval studií automatů a později vyvinul programovací jazyk umělé inteligence LISP, Herb Gerlertner a Arthur Samuel, kteří psali první šachové programy, Allen Newell a Herbert Simon, tvůrci programu Logic theorist. Simon se rovněž zabýval Ashbyho myšlenkou adaptace. Dále Nathaniel Rochester, architekt počítače IBM 70. Ray Solomonoff se zabýval strojovým učením na základě pravděpodobnosti.

Mezi zástupce konekcionistů patřil v té době Marvin Minsky, který byl ovlivněn McCullochovou prací na neuronových sítích a psal na téma neuronových sítí a modelování mozku dizertační práci. Brzo však téma neuronových sítí opustil a stal se jednou z ikon symbolického paradigmatu. Neuronovými sítěmi se zabýval i Oliver Selfridge a na pomezí konekcionismu stál i Trenchard More. Padesátá léta byla doba objevování možného a některé vědce by bylo možné zařadit do obou směrů. Tuto dobu výstižně charakterizuje Newell: *„Až do raných 60. let všichni vědci zabývající se mechanickým přístupem nebo mentálními funkcemi znali práci jeden druhého a navštěvovali stejné konference. Byl to jeden velký chaotický, vědecký happening.“* (2011, s. 6)

5.5.5.3 Dopady konference na vývoj paradigmat umělé inteligence

McCarthy byl zklamán, že ani zaslané příspěvky, ani reálné projevy účastníků konference nebyly dostatečně radikální a spíše shrnovaly dosavadní vědecké postoje a poznatky zúčastněných. Jeho symbolické paradigma tu bylo silně zastoupeno pojednáním o programu Logic Theorist Simona a Newella a nejvíce příspěvkem samotného Johna McCarthyho, který chtěl oddělit „*studie o automatech*“ (automata studies) od kybernetiky jako jím pojmenovaný obor umělé inteligence. Měl v úmyslu strhnout pozornost na výzkum

intelligentního chování strojů - strojovou inteligenci. Původně zamýšlel pojmenovat vydání *Studie o automatech* (Automata Studies) pod názvem *Směrem k inteligentním strojům* (Towards Intelligent Automata), od čehož byl zrazen Shannonem.

Podle Pamelý McCorduckové, autorky jedné ze základních knih o historii umělé inteligence *Stroje, které myslí* (Machines who think), je tato konference zrodem nového paradigmatu symbolicky zpracovaných informací, které na ní reprezentoval program Logic Theorist uvedený Alen Newellem a Herbert Simonem a paradigmatu sociálních vzorů reprezentované vědci, kteří vedli programy věnující se umělé inteligenci na Massachusettském technologickém institutu MIT (Massachusetts Institute of Technology), Stanfordově univerzitě, Univerzitě Carnegie Mellon (Carnegie Mellon University) a Stanfordově výzkumném institutu SRI. Podle ní konference upozadila přístup postavený na nápodobě mozku, neurofyziologický přístup spojovaný s kybernetikou a ranými neuronovými sítěmi. (2011, s. 1) Někteří účastníci jako Alen Newell považují reálný přínos Dartmouthské konference za velmi malý a samotný John McCarthy byl zklamán, že se z konference nestalo jakési výzkumné dobrodružství v objevování nových myšlenek. Přesto byla konference vnímána spíše optikou Olivera Selfridge, a to jako milník na poli strojové inteligence. (2011, s. 5)

Dartmouthská konference posloužila jako formální základ oboru a symbolického paradigmatu. Přestože její reálné důsledky a objevy nebyly nijak revoluční, rozhodně se nepodařilo splnit McCarthyho cíle, dala oboru jméno a historickou událost, na kterou se bylo možné v budoucnosti odkázat.

5.5.6 Raná očekávání

Podle některých zdrojů zazněly na Dartmouthské konferenci předpovědi na rok 1970, kdy měl být počítač schopen těchto činností: Stát se velmistrem v šachu, odhalit velké matematické teoremy, porozumět přirozenému jazyku, sloužit jako překladatel a komponovat klasickou hudbu na úrovni klasiků.

Není zcela jisté, že na této konferenci tyto odpovědi opravdu zazněly nebo se staly součástí dartmouthského mýtu.³ Některé tyto predikce byly učiněny o několik let později různými účastníky konference nebo jinými vědci zabývajícími se umělou inteligencí. Šachovou predikci a predikci matematického teorému vyřkli Simon a Newell v roce 1958. Podle nich měl do deseti let existovat počítač, který bude schopen porazit počítačového velmistra a dokáže odhalit nový matematický teorém. Simon doslova řekl: „*Není mým cílem vás šokovat, ale nejjednodušší způsob, jak vám mohu shrnout dnešní situaci je, že existují stroje, které myslí, učí se a tvoří. Navíc jejich schopnost takto konat rapidně vzrůstá a v blízké budoucnosti se budou jejich možnosti blížit možnostem lidské mysli.*“ (Russel a Norvig 2009, s. 20–21) Otázka, kdy počítač dokáže porážet v šachu velmistry, byla v umělé inteligenci velmi populárním tématem. McCarthy v roce 1968 slíbil svému příteli skotskému velmistrovi Davidu Levymu, že do deseti let bude vyvinut počítač, který ho porazí. V roce 1979 byl vyvinut alespoň takový počítač, nad kterým Levy těsně vyhrál.⁴ V roce 1997 byl vyvinut počítačový program, který porazil opravdového mistra světa v šachu,⁵ ale první velmistry začaly počítače porážet už na konci 80. let. I v té době byl McCarthy zklamán, že tyto počítačové programy jsou postaveny příliš na hrubé síle a nedokážou napodobit opravdové lidské myšlení. (Thinking Allowed 2011)

V roce 1965 H. A. Simon prohlásil, že během dvaceti let budou existovat stroje schopné jakékoliv práce, kterou dokáže dělat člověk. (Dreyfus 1992, s. 129) V roce 1967 Marvin Minsky předpověděl, že problém vytvoření umělé inteligence bude vyřešen a v roce 1970 vyšel v časopise Life rozhovor s Minským, kde se uvádí, že do tří let až osmi let bude

³ Na tuto informaci existují odkazy pouze v českých zdrojích. Pravděpodobně čerpají z MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ, Jiří LAŽANSKÝ. 1993. *Umělá inteligence (1)*. 1. vyd. Praha: Academia. 264 s. ISBN 80-200-0496-3.

⁴ Daniel Levy byl v roce 2003 porotcem při šachovém souboji Kasparova s programem Deep Junior. Sám vyhrál dvakrát Loebnerovu cenu (v roce 1997 a 2009) za program, který dokáže nejlépe simulovat lidské chování. (Schofield 2009)

⁵ V roce 1997 porazil v odvetném střetnutí počítač IBM Deep Blue Garryho Kasparova 3 : 2 na vítězné partie. Jedna hra skončila remízou. (Campbell et al. 2002, s. 59)

existovat stroj s průměrnou inteligencí člověka. (Velik 2010, s. 14) Ačkoliv u této položky Minsky později uvádí, že byl špatně citován (Crevier 1993). Není rozhodující kde, a kdy se přesně tyto předpovědi udály. Zcela přesně dokazují známý fakt, že odhady vývoje průkopníků umělé inteligence byly přehnaně nadějně a k některým cílům nemáme o mnoho blíže ani dnes. McCarthy neztrácel optimismus po celý svůj život⁶ a věřil, že je možné formalizovat postupy lidského myšlení tak, aby je bylo možné přenést na stroj. Ačkoliv již nebyl tak optimistický v časovém odhadu a domníval se, že najít takový postup může trvat i několik set let (Thinking Allowed 2011).

5.6 Konekcionistické paradigma

Konekcionistické paradigma se nezřídka ztotožňuje pouze s neuronovými sítěmi. Termín konekcionismus použil nejvýznamnější představitel neuronových sítí Frank Rosenblatt v roce 1962 ve své knize *Principy neurodynamiky* (Principles of neurodynamics). (Copeland a Proudfoot 2012) Neuronové sítě se velmi úzce inspirovaly biologií. Inspirace fungováním přírody či konkrétně lidské mysli bylo převládajícím směrem, kterým se zabývali předchůdci umělé inteligence. Vlastnosti, které charakterizují konekcionismus, jsou paralelnost, robustnost a tolerance k šumu. (Bečev 2013, s. 22) Konekcionistické sítě se obecně snadněji učí a jsou dobří klasifikátoři, ale na začátku málo umí. (Hawkins 2013)

5.6.1 Inspirace biologií před vznikem umělé inteligence

V pověstech či mýtech se objevovaly nápodoby lidí i zvířat a také řada automatů z 18. století se pokoušela imitovat živočichy. Objevují se různé příklady nápodoby živého, ať už se vědecká práce na nich vyvíjela, nebo zapadly. Jedním z příkladů byl pokus o vytvoření umělého živočicha Henrym Cavendishem (1731-1810). Tento Brit vytvořil umělou napodobeninu parejnoka elektrického. Tato ryba ze dřeva a ovčí kůže nedávala pochyb o svém umělém původu, ale byla stejně jako parejnok díky svému cínovému vnitřku schopna elektrických výbojů. Cavendish svůj vynález pokládal za důkaz kontinuity mezi živým

⁶ Podle nekrologu Johna McCarthyho si sám McCarthy pro svůj přístup ke světu přisvojil termín „radikální optimismus“. (Myers 2011)

a umělým. Jeho pokus však nedosáhl velké odezvy a po dlouhou dobu zůstal zapomenut. (Husbands et al. 2008, s. 44)

Biologický přístup souvisí se zkoumáním lidského myšlení, které se zakládá na dění v mozku. V 50. letech se pro takové studie ujal název kognitivní vědy. Kognitivní věda je interdisciplinární obor zabývající se myslí a inteligencí zahrnující pod sebe filozofii, psychologii, umělou inteligenci, neurovědu, lingvistiku a antropologii. (Thagard 2012) Tyto obory mají styčné body i dnes. Kognitivní vědy mají blízko k oběma hlavním paradigmatům. V době odklonu od neuronových sítí se v rámci kognitivních věd část výzkumu zachovala. (Olazaran 1996, s. 641) Kognitivní věda pracuje na principu analogií procesů odehrávajících se v lidském mozku a tento přístup je silný i v symbolickém paradigmatu. První myšlenky na existenci možnosti nějakého způsobu formalizace procesů v lidském mozku se objevovaly společně s rozvojem biologie a psychologie. Ale jejich předchůdci byli i někteří filozofové. René Descartes a Thomas Hobbes pokládali živé organismy za bytosti fungující na principech mechaniky a Descartes uvažoval o možnosti vzniku umělého člověka. (Husbands et al. 2008, s. 50; Oregon State Univerzity 2002)

D'Arcy Wentworth (1860 - 1948) biolog, matematik a profesor zoologie, který patřil do skupiny vědců a filozofů, kteří zkoumali přírodní tvary z matematického hlediska, vydal v roce 1917 knihu *O růstu a tvaru* (On Growth and Form), ve které se zabýval geometricky dokonalými přírodními tvary. Výskyt pravidelných tvarů rovnající se Fibonacciho posloupnosti (např. ulita) nebo jiným pravidelnostem, nepopsal jako pouhou matematickou kuriozitu, ale jako nejlepší využití prostoru. Ve svém výzkumu kombinoval biologický a matematický přístup. Jeho práce byla blízká starším myšlenkám Johanna Wolfganga Goetheho (1749 - 1832). Ten se kromě své bohaté literární činnosti také věnoval i studiu tvarů a vnitřních struktur živého i neživého. Pro své poznatky vynašel termín racionální morfologie. Ve svém spisu *Pokus o interpretaci metamorfózy rostlin* (Versuch die Metamorphose der Pflanzen zu erklären) vydaném v roce 1790 rozvíjí myšlenku, že různé tvary přítomné na rostlině jako kališní lístek či korunní plátek jsou transformacemi základního archetypálního tvaru listu. Podobné analogie viděl i v lidském těle. Rozvíjel podobnosti končetin savců s ploutvemi. Všechny kosti měly být transformacemi páteře. Je nutné si uvědomit, že tyto myšlenky vyslovil 19 let před narozením Darwina. Dnes se dá mnoho z těchto postřehů vysvětlit teorií adaptace. Goethe ve stejné eseji napsal: „*Vše je list*.“

Jednoduchost vytváří tu nejúžasnější různorodost.“ Kontinuitu ve vývoji v matematickém poznávání přírody dokazuje Goethův poznatek o základním tvaru. Tato myšlenka připomíná fraktály Benoîta Mandelbrota, které vzbudily vědeckou senzaci o 185 let později. (Husbands et al. 2008, s. 49) O matematickou morfologii se na sklonku svého života zajímal i Alan Turing. Ve svém článku *Chemická podstata morfogeneze* (The Chemical Basis of Morphogenesis) představil svoji vlastní teorii důvodu vzniku určitých tvarů či vzorů na tkáních živých organismů. Podle této teorie buňky jednají na základě hormonů, které obsahují prvotní chemický vzor. Tento hormon, který Turing nazval morfogen, by měl za cíl dodržovat symetrii. Například naruší-li nová větev stromu symetrii letokruhů, změní se koncentrace morfogenů, a buňky stromu dají vyrůst další větví. Různé morfogeny se však ovlivňují a takto může vzniknout nestabilita, která dává vzniknout různým vzorům. Přestože model pomohl k rozvoji matematické přístupu v biologii a některé jeho principy byly správné, při podrobnějším biologickém pohledu na vznik vzorů, je tato teorie přínosná spíše jako model. Reálné vzory v organismech takto nevznikají. (Maini 2012, s. 7) Na přelomu 40. a 50. let sestavil Ross Ashby na popud Turinga homeostat, přístroj, který se adaptoval v reakci na okolí, a Grey Walter vytvořil mechanické stroje připomínající želvy, které měly simulovat psychologické a neurologické funkce. Ashby i Walter byli významnými členy britského kybernetického spolku Ratio Club. (Asaro 2011, s. 3) Ashbyho homeostat označil Claude Shannon za základ pro modelování mozku a strojové učení. (Kline 2011, s. 8) Setkání skupiny se účastnil také Warren McCulloch, který spolu s Walterem Pittsem navrhli roku 1943 první umělý neuron. (Holland a Husbands 2011, s. 1)

5.6.2 Vznik neuronových sítí

Neuronové sítě jsou jedním z produktů, který stojí na konci výzkumu procesů mozku. Jejich vznik ovlivnil výzkum v neurobiologii. Neurobiologové byli často také kybernetiky či měli ke kybernetice blízko. Průlomem tohoto výzkumu bylo vysvětlení fungování biologického neuronu Santiagem Ramónem y Cajal, který označil neurony za buňky, které komunikují vysíláním elektronických impulzů prostřednictvím synapsí. (Bentivoglio 1998)

5.6.2.1 Umělý model neuronu Waltra Pittse a Warena McCullocha

Zakladatelským počinem konekcionistického paradigmatu byl první umělý model neuronu vytvořený roku 1943 neurologem Warrenem McCullochem a logikem Waltrem

Pittsem. Tento model je výpočetní jednotka, která je schopná vysílat a přijímat pouze signály 0,1. (Osička 2012, s. 1) McCulloch byl ovlivněn svým někdejší kolegou psychiatrem Eilhardem von Domarusem z nemocnice pro choromyslené v Rocklandu v USA, který chtěl propojit vědeckou léčbu mozku s filozofickými koncepty mysli a logickou strukturou usuzování. McCulloch již ve 20. letech uvažoval o jednotce psychonu, jakémsi základním procesu v mozku, který se buď odehrává, nebo neodehrává. Proces se mohl v psychonu odehrát, pouze byl-li psychon spojen s dalšími psychony. Tedy má podobné vlastnosti jako zjednodušený model neuronu a obsahuje v sobě základní princip konekcionismu. Při medicínském výzkumu docházelo k čím dál přesnějšímu popisu mozku a funkcí jeho části a měnil se pohled na fungování učícího procesu v mozku. (Abraham 2002, s. 4–7)

Pitts byl ovlivněn Nicolasem Rashevským, matematikem, který sám sebe nazýval matematickým biologem. Rashevsky analyzoval fungování neuronů, intenzitu jejich excitací, spojů a frekvenci impulsů. Rovněž analyzoval chování nervových vláken jednoduchých neuronových sítí, které zapsal za pomoci diferenciálních rovnic. Na jeho práci navázal Alston Householder, který zapsal činnost excitace neuronů pomocí lineárního modelu a dále rozvíjel analýzu chování nervových spojů. Pitts se stal členem Rashevského doktorandské skupiny a na základě práce Rashevského i Householdera vyvinul jednodušší model excitace neuronů v jednoduchých neuronových spojeních a dal si dále za cíl vyvinout model, který by byl aplikovatelný na všechny neuronové spoje. Pitts byl ovlivněn myšlenkami o komputalizovatelnosti na základě myšlenek Leibnize a Turinga. Zajímal se o to, zda je možné vyvinout podobný systém jako Turingův stroj za pomoci formalizace neuronových sítí. (2002, s. 13–16)

Genialitu Waltera Pittse podtrhuje to, že v roce 1942, když se seznámil s McCulloghem, mu bylo pouze 17 let zatímco McCulloghovi 44. McCulloch se již od 30. let snažil nějakým způsobem formalizovat aktivitu či neaktivitu neuronů, ale scházelo mu hlubší matematické zázemí. Spojení těchto dvou osobností, z nichž jedna pocházela spíše z biologických věd a druhá spíše z matematických, přineslo v roce 1943 publikaci práce *Logický výpočet idejí náležející nervové aktivitě* (A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity), kde byl popsán jejich logický model umělého neuronu. (2002, s. 18)

5.6.2.2 *Perceptrony*

Na model McCullocha a Pittse navázal v roce 1958 Frank Rosenblatt perceptronem. Synapse perceptronu mohly přenášet i reálné signály a při omezení na binární signály byly tyto modely stejné. (Osička 2012, s. 6) Rosenblatt vytvořil perceptronovou síť schopnou učení, která čerpala i z poznatku kanadského psychologa Donalda Hebba, že učení mezi biologickými neurony je realizováno díky změnám v synapsích mezi neurony. Nedostatkem perceptronů bylo, že byly lineárně separabilní. Tento fakt způsobil, že se neuronové sítě na několik let dostaly mimo hlavní proud výzkumu. (Zelinka 1998, s. 29)

Během konce 50. let a začátku 60. let se projektům neuronových sítí a jejich implementace věnovalo několik univerzit a laboratoří z nichž k nejdůležitějším patřila Rosenblattova skupina na Cornellově univerzitě. Počet projektů je těžké kvantifikovat, ale po Rosenblatově perceptronu se počet těchto převážně menších projektů rozšířil nejspíše na stovky. Neuronový přístup té doby vzbudil veliká očekávání části zástupců z řad výzkumu umělé inteligence či kybernetiky, jejichž cíle bylo nějakým způsobem mechanizovat fungování mozku. V tomto období se jednalo převážně o výzkum jednovrstvých neuronových sítí. Nejvýraznější postava výzkumu neuronových sítí Frank Rosenblatt byl údajně charismatický člověk, který uměl zacházet s tiskem. Jeho projekt byl financovaný Úřadem pro námořní výzkum ONR (Office of Naval Research) a na tiskové konferenci tohoto úřadu v roce 1958 dokázal svými prohlášeními vybudit nejen zájem médií, ale i kontroverzní odezvu od ostatních vědců z řad umělé inteligence. Podle ohlasů v tisku přirovnal výzkum neuronových sítí k embryu, které bude schopné chodit, mluvit, psát, rozmnožovat se a být si vědomo své existence. Pokročilé perceptrony by podle jeho prohlášení mohly rozeznat osoby a výborně překládat z jazyka do jazyka. Někteří výzkumníci v reakci na tato slova označovali Rosenblatta za sen propagačního pracovníka nebo dokonce za novodobého šamana. Marshall Yovits, který měl na starosti financování projektu, při vzpomínce na tyto kontroverze uvádí, že nejvíce nesouhlasných reakcí přicházelo od zastánců symbolického paradigmatu z MIT, kteří kritizovali Rosenblattovo vystoupení jako nevědecké a zpochybňovali dosahy jeho práce. Yovits s nimi nesouhlasí a dodává, že vládní úřad potřeboval podporu veřejnosti a vstřícná prohlášení k tisku velmi oceňoval. Charles Rosen, jeden z vědců pracujících na výzkumu neuronových sítí ve významném centru tohoto oboru ve Stanfordově výzkumném institutu v rozhovoru z roku 1989 prohlásil, že zejména Minsky a jeho skupina

považovali Rosenblattovu práci za ztrátu času a výzkum perceptronů poté úplně zlikvidovali. (Olazaran 1996, s. 612–628)

5.7 Krize konekcionistického paradigmatu

Konec první části výzkumu neuronových sítí znamenala kniha *Perceptrony* (Perceptrons) z roku 1969 Marvina Minského a Seymoura Paperta. Kniha byla vydána roku 1969, ale v podobě konceptu existovala již od poloviny 60. let. Minsky se původně výzkumu neuronových sítí sám věnoval, ale opustil ho jako neperspektivní již na začátku 50. let, aby se přiklonil k symbolickému přístupu. (1996, s. 628)

Autoři knihy perceptronům přiznávají schopnost učení, dokazují však, že tato schopnost je málo využitelná, protože perceptronové sítě nejsou schopné reprezentovat složitější informace. Tak jako si mozek přiřazuje nové informace k již existujícím vzorům (třídám) podle svých zkušeností, přiřazují si je i umělé neurony. Tím, že jsou schopny pouze lineární separability, nejsou schopny ani složitějšího učení. (Russel a Norvig 2009, s. 22) Separabilita neboli rozdělitelnost znamená, jakou křivkou lze vytyčit hranici mezi jednotlivými třídami, aby během funkce neuronové sítě docházelo k co nejmenšímu počtu zařazení do špatných tříd. V případě lineární separability je hranicí přímka a v případě nelineární křivka. Neuronové sítě té doby tedy uměly pracovat pouze s problémy, jejichž hranicemi byla přímka. Tento problém později vyřešilo až využití stejné sítě o více vrstvách. (Zelinka 1998, s. 23)

Minského výtky se netýkaly komplexnějších mnohovrstevných sítí, ale vzhledem k dobré matematické argumentaci a prestiži autorů přišly neuronové sítě po publikaci knihy o téměř veškeré investice do výzkumu. Poté, co byli svědky dalekosáhlých dopadů své práce, přidávají Minský a Papert v roce 1972 kapitulu, ve které pojednávají o tehdejšímu stavu paralelních počítačů a hodnotí dosavadní vývoj tohoto výzkumu. Pojmenovávají nové cíle, které stojí před konekcionistickým pojetím umělé inteligence. Těmi měla podle nich být snaha o pochopení, jakým způsobem mohou jednotlivé objekty a agenty se svou individualitou zlepšit celou síť. Takovýto pokrok by pak mohl vést k tomu, co autoři nazvali sociální teorie mysli. (MIT Press © 2014) Je ironií osudu, že počáteční poznatky o metodě zpětného šíření, které znamenaly vzkříšení zájmu o neuronové sítě v 80. letech, byly učiněny již v roce 1969 Arthurem E. Brysonem a Yu-Chi Hoem. (Zelinka 1998, s. 23)

Zastánci neuronových sítí zpochybňovali význam knihy Minského a Paperta, protože se zabývala pouze jednovrstevnými sítěmi. Jeden z jejich významných zástupců Bernard Widrow považoval knihu za irelevantní, protože Minsky a Papert představili pouze jednu část výzkumu perceptronů. Přestože byla podle něj jejich tvrzení matematicky správná, skutečný výzkum už byl v té době dál a pracovalo se na komplikovanějších modelech, než o kterých psali Minsky s Papertem. Důkazy, které učinili, byly podle něj nepodstatné. Vysvětlení mocného působení knihy vidí sociolog Mikel Olazaran v axiomatickém či aritmetickém ideálu ve vědě. Tedy na ideálech pevně daných tvrzení a faktů. Symbolické paradigma je založené na schopnosti počítače manipulovat symboly způsobem blízkým jejich logickému syntaxovému, a tedy diskrétnímu uspořádání. Symbolické paradigma pokládá Olazaran za bližší aritmetickému (racionalistickému) ideálu než konekcionistický, prostředím řízený, učící se (tedy ne přímo programovaný) přístup neuronových sítí. Ty byly spíše blízké samoorganizačním kybernetickým systémům.

Přestože autoři knihy nezastírali svůj skepticismus k neuronovým sítím jako takovým, věděli, že se věnovali pouze možnostem jejich jednovrstevné varianty, jak dokazuje tato citace: „*Perceptrony dokázaly, že stojí za to je zkoumat, přestože (a spíše právě proto!) mají závažné limity. Mají mnoho vlastností, které stojí za pozornost – svoji linearitu, zajímavý učící teorém; jasnou paradigmatickou zřetelnost jako druh paralelní komputace. Není důvod předpokládat, že se nějaké z těchto schopností přenesou do více vrstevných verzí těchto sítí. Přesto pokládáme za podstatnou vědeckou otázku, jak vysvětlit (nebo odmítnout) náš intuitivní soud o nemožnosti dalšího vývoje. Možná bude objeven nějaký mocný konvergenční teorém nebo bude nalezena závažná příčina toho, proč nelze přijít na nějaký zajímavý učící teorém pro mnohvrstevné sítě.*“ Jejich odsouzení neuronových sítí tedy není absolutní. Kniha však byla interpretována tak, a to ponejvíce zastánci symbolického paradigmatu, že další vývoj neuronových sítí nemá přílišnou naději na dostatečný pokrok. Vědcům pracujícím na jejich výzkumu se přes marné snahy nedařilo dosáhnout jejich dalšího financování.

Za hlavní centra výzkumu neuronových sítí se na počátku výzkumu pokládá Rosenblattův výzkum na Cornellově univerzitě, skupina Bernarda Widrowa na Stanfordově univerzitě a Stanfordově výzkumném institutu. V polovině 60. let, kdy mělo symbolické paradigma zajištěnou stabilní finanční podporu, se neuronovým sítím věnovalo z výše zmíněných tří center pouze Rosenblattovo. Widrow se věnoval výzkumu telekomunikačních

inženýrských aplikací, kde využil některé techniky neuronových sítí, a skupina ze Stanfordova výzkumného insitutu se zaměřila na projekt mobilního robota v rámci symbolického paradigmatu. Ztrátu zájmu o neuronové sítě symbolicky završila tragická smrt jejich nejznámějšího advokáta Franka Rosenblatta v roce 1971.⁷ Papert později prohlásil, že za obrovský dosah knihy může idea universalismu, v rámci které věda uzná všechno nebo nic. Ve skutečnosti prý byla jeho a Minského kniha z poloviny věnována tomu, co perceptrony dokáží.

V 70. letech bylo symbolické paradigma pokládáno za jediné paradigma umělé inteligence. Výzkum neuronových sítí přesto zcela nezanikl, ale nebyl pokládán za legitimní součást umělé inteligence. Pracovali na něm převážně mladí vědci v oborech příbuzných s neurovědou a na psychologii orientovanými vědami a to více na území Evropy než USA. (1996, s. 634–640)

5.8 Vzestup symbolického paradigmatu

Výzkumy krátce po Dartmouthské konferenci vzbuzovaly nadšení. Počáteční možnosti počítačů byly sice malé, ale ještě před několika lety se zdálo, že počítače budou schopny pouze aritmetických výpočtů. John McCarthy toto období přirovnal ke zvolání malého dítěte „Podívej se, co už umím, mami.“ Mezi první úspěšné aplikace patřily šachové programy. V roce 1952 vytvořil Arthur Samuel šachové programy, které byly schopné hrát na úrovni zdatného amatéra. Jejich prezentace na obrazovce v roce 1956 přinesla značnou publicitu, ale i on se musel potýkat s velkým problémem své doby hledáním počítačového času.⁸ V IBM Nathaniel Rochester spolu se svými kolegy vytvořil řadu dalších programů zakladatelské éry umělé inteligence. IBM také podporovala univerzitní výzkum. V počátcích umělé inteligence tvořila hlavní centra výzkumu laboratoře umělé inteligence na univerzitách v čele se silnými osobnostmi zakladatelské éry. Badatelské zájmy otců zakladatelů byly odlišné, a proto se

⁷ Frank Rosenblatt zahynul při nehodě na lodi v den svých 43. narozenin. Podle některých dohadů šlo o sebevraždu. (Tofts et al. 2004, s. 62)

⁸ Arthur Samuel využíval počítače ve fázi vývoje firmy IBM a to v nočních hodinách. (Russel a Norvig 2009, s. 19)

i každá univerzita jistým způsobem zaměřovala. Kromě IBM byly nejdůležitějšími centry výzkumu tři univerzity, které jsou dodnes nejprestižnějšími univerzitami svého oboru. Jednalo se o laboratoř Newella a Simona na Univerzitě Carnegie Mellon, laboratoř Johna McCarthyho na Stanfordově univerzitě a výzkumné centrum Marvinina Minského na MIT. (Russel a Norvig 2009, s. 18–19) Výzkum umělé inteligence nebyl pouze záležitostí USA, ale díky armádnímu financování se nejvíce pokroku událo právě tam. (Brooks 2014a)

5.8.1 Kognitivní přístup na Univerzitě Carnegie Mellon

Allen Newell a Herbert Simon z Univerzity Carnegie Mellon představili v roce 1959 General Problem Solver (GPS). Tento program byl již od počátku koncipován jako nástroj k imitování lidského rozhodování při řešení problémů. Šlo o první program, který se snažil přemýšlet jako člověk. Alespoň do té míry, na které mu jeho limitované možnosti stačily. Byl to první program, který oddělil bázi dat od postupu řešení problému. Byl napsán v programovacím jazyce IPL. Jedná se o nejranějšího zástupce kognitivních simulací v umělé inteligenci. (Russel a Norvig 2009, s. 18) Nástupci GPS byly systémy STRIP vyvinutý ve Stanfordském výzkumném institutu a PLANNER vyvinutý na MIT. Tyto systémy nikdy nedosáhly velkého uplatnění v praxi, ale poskytly základ pro pozdější nástup systémů založených na reprezetnaci znalostí. (Mařík et al. 1993, s. 57–58) Teoretický úspěch GPS a dalších programů založených na nápodobě lidského usuzování vedl Newella a Simona k *hypotéze systému fyzických symbolů*, která tvrdila, že systém fyzických symbolů je nezbytný pro inteligentní jednání. Podle této hypotézy každý systém vykazující inteligentní chování, ať už lidský či umělý, tak činí pomocí datových struktur složených ze symbolů. Tato hypotéza byla později z mnoha stran zpochybňována. (Russel a Norvig 2009, s. 18)

5.8.2 Na logiku orientovaný přístup na Stanfordově univerzitě

John McCarthy byl zástupce přístupu založeného na využití logiky, která byla podle něj pro potřeby umělé inteligence ideální aplikací matematiky. Založil Stanfordovu laboratoř umělé inteligence SAIL (Stanford Artificial Intelligence Laboratory) na Stanfordově univerzitě, kde většinu života působil. Jedním z největších McCarthyho úspěchů je jeho podíl na vynalezení systému sdílení času Thor a programovacího jazyka založeného na logice LISP

v roce 1958.⁹ Na Stanfordově univerzitě byly mimo jiné vytvářeny šachové programy. LISP jako první zavedl „if-then-else“ a poskytl základ jiným programovacím jazykům. McCarthyho využití logiky patří k primárním intelektuálním zdrojům logického programování. (Marcus 2004, s. 219) V roce 1958 ve článku *Programy se zdravým rozumem* (Programs with Common Sense) popsal hypotetický program Advice Taker, který byl stejně jako programy Logic Theorist a Geometry Theorem Prover zaměřený na řešení problémů, ale na rozdíl od nich měl mít v sobě obsažen „common sense“ a být schopný reagovat na změny bez nutnosti přeprogramování. (Russel a Norvig 2009, s. 19) Petr Berka překládá termín „common sense“ jako všeobecné znalosti (Berka 2003, s. 43). Tento termín má hlubší filozofické kořeny, které ho definují jako znalosti, které má průměrný člověk včetně jeho víry ve vlastnosti objektů v okolním světě. (Britannica Academic Edition 2014b) V češtině ho lze vyjádřit také jako zdravý nebo selský rozum. V této práci budu dále používat termín zdravý rozum, který se užívá i v některých pramenech. Tyto znalosti zahrnují obrovské množství zákonitosti typu „Voda je mokrá“ nebo „Čas nikdy nejde pozpátku“. (Kaku 2010, s. 112)

McCarthy pracoval na způsobech vyjádření zdravého rozumu za pomoci predikátové logiky prvního řádu, ale tento cíl se dodnes nepodařilo splnit. Vyjádření zdravého rozumu počítačovou formou zůstává jedním z nesplněných cílů umělé inteligence. (Marcus 2004, s. 217–218) V roce 1984 se o tvorbu programu, který by shromáždil všechny zákony zdravého rozumu, pokoušela firma Cycorp. Podařilo se jí shromáždřit pouze 306 000 faktů a 47 000 konceptů.¹⁰ (Kaku 2010, s. 112–113)

Na Stanfordově univerzitě se dále vyvíjely metody pro všeobecné využití založené na logickém usuzování. Na logice založené aplikace zahrnovaly programy stavěné na kladení a odpovídání otázek, plánovací systémy a projekt tvorby robota Shakeyho.¹¹ Projekt robota

⁹ LISP vznikl ještě během McCarthyho působení na MIT, odkud odešel v roce 1962. (Marcus 2004, s. 216)

¹⁰ Jednalo se o tzv. generickou ontologii. V praxi se uplatňují a reálně dosažitelnější jsou tzv. doménové ontologie, jejichž předmětem je nějaká specifická oblast. (Berka 2003, s. 43)

¹¹ Robot Shakey vznikl již v novém Stanfordově výzkumném institutu. (Russel a Norvig 2009, s. 19)

Shakeyho byl první projekt, který spojoval logické usuzování a fyzickou aktivitu. (Russel a Norvig 2009, s. 19) Shakey vznikl tradičním přístupem tzv. shora dolů (dopředu naprogramovaný robot) vlastním pro symbolické paradigma. Tento přístup tvorby robotů byl v 90. letech zpochybněn Rodneyem Brooksem. Toto téma je rozebráno v podkapitole Nová vlna umělé inteligence.

5.8.3 Antilogický přístup na MIT

Marvin Minsky zakládal Laboratoř počítačové vědy a umělé inteligence CSAIL (Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory) na MIT spolu s Johnem McCarthyem, který odsud později odešel na Stanfordovu univerzitu. (Minsky 1989, s. 10; Marcus 2004, s. 221) Na rozdíl od McCarthyho, který upřednostňoval reprezentaci a usuzování za použití formální logiky, se Minsky zajímal o tvorbu fungujících programů. Jeho přístup se nazývá také antilogický. Minsky vedl na MIT skupinu snažící se vyřešit problémy, které podle něj vyžadovaly inteligentní přístup. Oblasti těchto problémů vešly ve známost pod pojmem *mikrosvěty*. Během této doby vznikly programy jako SAINT, program Jamese Slagleho, který uměl počítat uzavřené integrály, které se vyučovaly v prvních ročnících na vysoké škole. Analogický program Toma Evanse řešil úlohy geometrických analogií, které se objevují v IQ testech. Student program Daniela Bobrowa řešil algebraické slovní úlohy. (Russel a Norvig 2009, s. 19)

5.8.4 Faktory stojící za úspěchem symbolického paradigmatu

Symbolické paradigma mělo nad konekcionistickým paradigmatem vedoucí postavení již od počátků umělé inteligence. Historik zabývající se dějinami informačních věd Paul Edwards uvádí dva hlavní důvody tohoto stavu. Prvním důvodem bylo, že výzkum symbolického paradigmatu byl založen na počítačovém programování podle von Neumanna a klasickém vývoji softwaru. Druhou výhodou byla institucionální podpora od Agentury pro výzkum pokročilých projektů ARPA (Advanced Research Projects Agency), obzvláště jeho dnes již neexistujícím oddělením Úřadem pro techniky zpracování informací (Information Processing Techniques Office). Velmi důležitý byl vznik vyspělých počítačových jazyků a systémů pro sdílení času.

V 50. letech se na prvních komerčně dostupných počítačích programátoři pokoušeli vyvíjet počítačové jazyky, které by zjednodušovaly zadávání příkazů. Ty byly dosud

zadávány v binárním strojovém jazyku, který se obtížně používal i upravoval. Vytvoření programovacích jazyků, které by umožňovaly použití anglických příkazů, bylo pro symbolické paradigma podstatné i z toho důvodu, že se na počítače začalo nahlížet jako na nástroje schopné pracovat se symboly, a ne pouze jako na stroje zpracovávající jedničky a nuly. Mezi jazyky vyvinuté v 50. letech patřil IPL Newella a Simona a McCarthyho LISP. V tomto období potřebovaly nově vyvinuté programy veliké množství počítačové paměti a času. Tehdejší počítače mohly vykonávat pouze jednu činnost a výzkumníci tak byli často frustrováni, protože chtěli-li program testovat či upravit, museli pokaždé vyčkat, až bude počítač volný. Počítačů byl všeobecně nedostatek a tento problém se dotýkal obzvláště výzkumu na univerzitách. Tuto překážku pomohl překonat McCarthy, když vyvinul způsob časového sdílení centrální procesové jednotky. Díky němu mohli vědci za pomoci programovacího jazyka LISP pracovat ze svých terminálů a snáze upravovat své programy za chodu. Tento pokrok vedl k další podpoře, které se symbolickému přístupu dostávalo od Agentury pro armádní výzkum ARPA, která v takto zaměřeném výzkumu spatřovala veliký potenciál pro armádní projekty. Kromě sdílení času chtěla ARPA podpořit vývoj programování, kognitivní simulace a heuristiky. ARPA si k podpoře vybrala skupinu vědců a jejich studentů v prestižních výzkumných centrech. Jednalo se zejména o skupinu Marvinu Minského na MIT, Univerzitě Carnegie Mellon, skupinu Johna McCarthyho na Stanfordově univerzitě a Stanfordově výzkumném institutu.

ARPA se rozhodla dát přednost symbolickému paradigmatu před neuronovými sítěmi, protože v nich neviděla dostatečný reálný potenciál. Stěžejní pro ni bylo řešení problémů, zatímco neuronové sítě představovaly stále spíše teoretickou vědu. Toto rozhodnutí znamenalo, že jeden přístup byl jednoznačně finančně zvýhodněn, protože ARPA byla schopná přispět na projekty statisíci až miliony dolarů, zatímco příspěvky Úřadu pro námořní výzkum, který financoval výzkum neuronových sítí v 60. letech, se pohybovaly v hodnotách 40 až 50.000 dolarů. (Olazaran 1996, s. 636–638)

5.9 Krize symbolického paradigmatu

Na konci 60. let a během 70. let již bylo zřejmé, že se některé optimistické předpovědi vyřčené na konci 50. letech nepodaří splnit. Podle Herberta Simona měl již být v tomto období vyvinut stroj schopný vyřešit matematický teorém a porazit velmistra v šachu.

Přestože slavní teoretici umělé inteligence stále vynášeli odvážné předpovědi budoucnosti, reálně se ukazovalo, že v dohledné době nebudou splnitelné. Bylo zřejmé, že cíle Darmouthské konference je obtížné dosáhnout. Formalizace komplikovaného navzájem provázaného reálného světa, tak aby s ním mohl pracovat počítač, troskotala už na vzhledem ke smělým cílům relativně malých krocích, jako byl překlad jednoduchých vět.

Nesplněné cíle spolu nesly i pokles finanční přízně od ARPA. První nezdary se pojí k strojovému překladu jazyka. K ukončení financování tohoto projektu došlo poté, co vládní Poradní komise pro automatické zpracování jazyka ALPAC (Automatic Language Processing Advisory Committee) roku 1966 zhodnotila stav výzkumu strojového překladu. Její zpráva strojový překlad prohlásila za dvojnásobně dražší, méně přesný než lidský překlad a její verdikt zněl, že neexistuje vyhlídka na kvalitní strojový překlad. Vliv této zprávy trval kolem deseti let. Měl vliv i na omezení výzkumu v některých zemích Evropy včetně tehdejšího Sovětského svazu. Výzkum s tímto zaměřením pokračoval v Kanadě, Francii a Německu. (Hutchins 2005, s. 2) V Británii v roce 1973 vyvolala utlumení výzkumu umělé inteligence zpráva profesora James Lighthilla. Ten na žádost parlamentu zhodnotil stav výzkumu umělé inteligence v Británii. Ve své zprávě kritizoval, že dosavadní výzkum ani zdaleka neplní své velkolepé plány a jeho výsledky by bylo možné dosáhnout v rámci jiných oborů. Financování umělé inteligence bylo poté omezeno na tři univerzity. (Russel a Norvig 2009, s. 24)

ARPA byla zklamaná z neúspěšného projektu rozpoznávání řeči. Projekt financovala roku 1971 navzdory doporučení komise Národní akademie věd (National Academy of Sciences), která celou ideu rozpoznávání řeči počítačem považovala téměř za šarlatánskou. Projekt trval tři roky a byl zajišťován třemi miliony dolary ročně, ale jeho produkty nebyly uspokojivé. Výsledky byly kritizovány také z důvodu příliš obecně nastavených cílů. Umělá inteligence sklízela dlouhodobou kritiku za to, že se její výsledky na rozdíl od ostatních oborů obtížně hodnotí. V 70. letech se DARPA¹² postupně odkláněla od přílišné důvěry plánů otců zakladatelů symbolického paradigmatu a zaměřovala se na podporu programů s konkrétním cílem. (National Research Council 1999)

¹² Advanced Research Projects Agency (ARPA) si roku 1972 změnila název na Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) (DARPA 2008)

Kritika umělé inteligence byla stále zřetelněji vidána i v širším společenském kontextu. V roce 1965 vydal dlouhodobý kritik umělé inteligence (zejména symbolického směru) filozof Hubert Dreyfus knihu, která zpochybňovala možnosti umělé inteligence *Alchymie a umělá inteligence* (Alchemy and artificial intelligence), a v roce 1972 knihu *Co počítače nedokážou* (What Computers Can't Do). Podle něj je lidské myšlení intuitivní a není možné ho formalizovat na základě logiky. Stroj není schopen vnímat kontext tak jako člověk a není možné formalizovat teorii všedního světa. (Kenaw 2008, s. 228–234) Optimistické předpovědi přitom směřovaly až ke vzniku silné umělé inteligence.

5.10 Znalostní inženýrství - expertní systémy

V 70. letech se vývoj pomalu odvracel od hledání všeobecných řešení k používání znalostí pro řešení konkrétních úkolů a zrodilo se znalostní inženýrství - expertní systémy. Roku 1977 Ira Goldstein a Seymour Papert prohlašují: *„Základním problémem umělé inteligence není odhalení několika efektivních obecných technik, ale spíše otázka, jak reprezentovat velké množství znalostí ve tvaru, který by dovolal jejich efektivní využívání a interakci.“* (Mařík et al. 1993, s. 21) Během 50. a 60. let se prováděly za pomoci elementárních usuzovacích metod za účelem kompletních řešení. Tyto přístupy se nazývají též slabé metody, protože ač směřují k všeobecným účelům, nejsou schopné dojít k řešení složitějších problémů. Opakem tohoto přístupu jsou metody založené na znalostech z určité specifické oblasti, které umožňují složitější usuzování a mohou se lépe zaměřit na typické úkoly experta určitého oboru. Jinými slovy řeší těžké problémy, na které by expert měl znát odpověď. (Russel a Norvig 2009, s. 22) Další důvod příklonu ke znalostním systémům byl kvalitativní skok v možnostech hardwaru počítačů. Odborníci na umělou existenci se snažili vyhledávat konkrétní problémy, kterým by se mohli věnovat, a zaměřili tak svou pozornost na znalosti. (Sklenák 2001, s. 93) Na konci 60. let začaly vznikat první expertní systémy. Expertní systémy byly založené na programovacích jazycích na bázi logiky. Prvním takovým úspěšným systémem byl DENDRAL, který vznikl na Stanfordově univerzitě v roce 1969. Vytvořil ho bývalý student Herberta Simona Bruce Buchanan ve spolupráci laureátem Nobelovy ceny za objevy v genetice Joshuou Lederbergem. DENDRAL na principu rozhodovacího stromu analyzoval strukturu molekul. Další systémy převzaly princip programu Advice Taker Johna McCarthyho a oddělily bázi znalostí a usuzovací složku. Tento princip se stal pro další expertní systémy charakteristický. Další průlomovou oblastí, kde

expertní systémy nacházejí uplatnění dodnes, byla medicína. Pro tvorbu medicínského expertního systému MYCIN bylo nutné provádět náročné konzultace s lékařskými experty. Expertní systémy poskytly umělé inteligenci první širě využitelné nástroje, které se mohly uplatnit a také se uplatnily na komerčním trhu. Jejich komerční úspěch dosáhl vrcholu v 80. letech. (Russel a Norvig 2009, s. 22–23)

5.11 Návrat neuronových sítí

V 80. letech došlo k novodobému boomu neuronových sítí díky práci z roku 1985 Learning internal representations by error propagation autorů Davida Rumelharta, Geoffreyho Hinton a Ronalda J. Williamse. Autorům se podařilo prolomit zásadní problém neuronových sítí tím, že představili vícevrstevné sítě schopné řešit problémy, které nejsou lineárně separabilní. Nové objevy znamenají růst investic do výzkumu. Během 80. let vznikají Hopfieldova síť, Kohonenova síť a Grossbergova ART síť. (Zelinka 1998, s. 7) Rumelhart a jeho kolegové odpovídají na Minského s Papertem: „*Věříme, že se nám podařilo odpovědět na Minského a Papertovu výzvu a našli jsme učící mechanismus dostatečně silný, aby dokázal, že pesimismus ohledně možnosti učení mnohvrstevných sítí nebyl správný.*“ Minsky s Papertem oponovali, že metoda zpětného šíření stále nedokazuje, že by neuronové sítě byly schopny složitých úkonů. (Olazaran 1996, s. 648)

V 80. letech pluralitě výzkumu umělé inteligence kromě komercializace celého oboru výrazně napomohl pokrok v informačních technologiích. Snížily se ceny těchto produktů a k počítačům se dostávala i široká veřejnost. Profesor James Fleck z Otevřené univerzity (Open University) dodává, že rozšíření počtu lidí, kteří měli možnost pracovat s informačními technologiemi, oslabil elitu symbolického směru umělé inteligence a umožnil outsiderům prosazovat různorodější směry výzkumu, tedy i neuronové sítě. Výzkum neuronových sítí tak jistým způsobem stále pokračoval v oborech, které byly blízké kognitivním vědám, a v oborech spojených s neurovědou. Přestože i kognitivní vědy pracovaly s ideami symbolů, jejich interdisciplinární charakter poskytoval pro výzkum neuronových sítí dostatečný prostor, a poskytl nové pohledy pro biologický přístup v umělé inteligenci, který hledal inspiraci ve fungování lidského mozku. V té době procházelo symbolické paradigma velikou krizí. Přestože expertní systémy byly komerčně úspěšné,

nedařilo se jim prorazit na poli porozumění mluvenému projevu, rozpoznávání vzorů, zdravého rozumu a heterogenního usuzování. (1996, s. 643)

V roce 1979 se uskutečnila konference v La Jolle v Kalifornii. Jednalo se o první významný kontakt vědců zabývajících se neuronovými sítěmi v 70. letech. Byla zde představena kniha *Paralelní modely asociativní paměti* (Parallel Models of Associative Memory),¹³ jejímiž tématy byly informační procesy v mozku, konekcionistické lokální sítě, sémantické sítě a asociativní paměť. Dále se konference zabývala tématy, jakým způsobem zahrnout paralelismus do výzkumu počítačového vidění a omezovacích systémů. Jednalo se tedy o témata, na kterých symbolický přístup selhal. Po konferenci byla na Kalifornské univerzitě vytvořena tzv. výzkumná skupina PDP¹⁴ vedena psychologem Davidem Rumelhartem a Jamesem McClellandem, která se věnovala paralelnímu distribuovanému zpracování. (1996, s. 643–644)

Výzkum v této oblasti podporoval názor, že důvod, proč mozek dokáže tak rychle zpracovat informace, spočívá v jeho paralelismu. Chtěli-li vědci vyrobit něco, co dokáže zpracovávat informace stejně rychle, měli by tento způsob fungování adoptovat. Biologické neurony byly schopny činností, kterých mělo symbolické paradigma potíže dosáhnout, jako bylo na příklad bleskové rozeznávání obličejů. Pozornost se obracela k možnostem paralelního zpracování informací, aby bylo možné překonat omezení sekvenčních počítačů. Oddělení paměti a centrální procesové jednotky Neumannových počítačů znamenalo sekvenční způsob práce – najednou se mohla odehrávat pouze jedna operace. Výzkum neuronových sítí neprobíhal pouze ve spojení s paralelními počítači a mnoho pokroku v neuronových sítích bylo učiněno během simulací sekvenčních počítačů, ale vývoj informačních technologií a nárůst rychlosti počítačů způsobené paralelismem byl pro rozvoj výzkumu neuronových sítí velmi podstatný. (1996, s. 644–645)

¹³ Kniha *Parallel Models of Associative Memory* oficiálně vyšla až v roce 1981. (Olazaran 1996, s. 643)

¹⁴ PDP výzkumná skupina neboli vědci zkoumající distribuované paralelní zpracování (parallel distributed processing). (Olazaran 1996, s. 643)

John Hopfield vytvořil tzv. Hopfieldovu síť, která pracovala na principu asociativní paměti a byla schopna pracovat i s do jisté míry poškozenou informací. Tato síť byla upravena vědci Geoffreyem Hintonem a Terryem Sejnowskim z výzkumné skupiny PDP do Boltzmannova stroje - pravděpodobnostní mnohvrstevné sítě, pro kterou vytvořili učící algoritmus. Poté byl dalšími vědci ze skupiny PDP Rumelhartem, Hintonem a Williamsem vytvořen tzv. algoritmus zpětného šíření, učící algoritmus pro dopřednou (tedy perceptronu podobnou) mnohvrstevnou síť, který naplno odstartoval novou fázi rozvoje neuronových sítí. (1996, s. 645)

Nové neuronové sítě nahradily nespojitý způsob práce (krok za krokem) starých perceptronových sítí a byly schopné plynulé práce v procesních jednotkách. V roce 1986 poslali Rumelhalt a McClelland zprávu Agentuře pro výzkum pokročilých obranných projektů DARPA a Národní vědecké nadaci (National Science Foundation) s žádostí o finanční podporu, ve které varovali proti dalšímu přehlížení tohoto výzkumu. DARPA se tentokrát rozhodla tento výzkum podpořit. Během 80. let byl tento výzkum podporován v USA, Evropě a Japonsku. (1996, s. 646)

5.12 Investiční boom umělé inteligence

Během 80. let si produkty umělé inteligence vybudovaly místo na komerčním trhu a začaly přinášet finanční zisky. Symbolické paradigma již nezáviselo pouze na financování institucí jako DARPA, ale čím dál více investic pocházelo z komerční sféry, která měla zájem na aplikování jejich výsledků na trhu. Růst expertních systémů byl jedním z největších úspěchů umělé inteligence poloviny 80. let a boom zažívaly také nově objevené neuronové sítě. Ve stejné době vzbudil veliký zájem projekt japonské vlády tzv. počítače 5. generace (Fifth Generation Project), který se obzvláště zaměřoval na přirozenou práci s jazykem a znalostní inženýrství. Částky, které se v tomto období v umělé inteligenci pohybovaly, stouply z jednotek miliónů dolarů v roce 1980 do miliard dolarů v roce 1988. (Russel a Norvig 2009, s. 24; Treleaven a Lima 1982, s. 80)

Vznikl do značné míry oprávněný dojem, že umělá inteligence bude přinášet obrovské zisky a je třeba chytit se příležitosti, investovat do ní a nezůstat opodál za jinými zeměmi či komerčními subjekty. Tento investiční boom přerostl v nafouklou bublinu, která musela splasknout, ale stejně tak přispěla k rozvoji umělé inteligence. Investice nepocházely pouze

ze soukromých subjektů, ale značné subvence poskytovaly národní vlády. Atmosféru té doby charakterizuje tento úryvek z recenze na knihu *Pátá generace: umělá inteligence a japonská počítačová výzva světu* (The Fifth Generation: artificial intelligence and Japan's computer challenge to the world) autorů Pamely McCorduck a Edwarda Feigenbauma z roku 1983: „Tato kniha je určená pro každého, koho zajímá ekonomická a technologická budoucnost Ameriky ... Autoři poukazují na to, že Amerika a Japonsko spolu svádějí bitvu o vůdcovství na poli počítačového trhu. Přestože jsme ve vedení, Japonsko započalo masivní investice do nové generace počítačů – znalostních informačních systémů nebo strojů KIPS. Tyto nové mocné stroje budou moci překonat cokoliv pouze několika příkazy, mít přístup k obrovským databázím a stále budou snadno užitelné. Autoři důkladnou argumentací dokazují, že necháme-li náš počítačový průmysl zaostat v tomto důležitém výzkumném závodě, může dopadnout stejně jako automobilový průmysl.“ (Sondak 1983)

5.12.1 Komerční využití expertních systémů

Expertní systémy byly v komerční sféře velmi úspěšné. První komerčně úspěšný expertní systém R1 fungoval ve společnosti vyrábějící informační technologie Digital Equipment Corporation (DEC), kde pomáhal konfigurovat příkazy pro nový počítačový systém. V roce 1986 šetřil své společnosti přibližně 40 milionů dolarů ročně. Do roku 1988 DEC používala více než 40 expertních systémů a další plánovala. Chemickému koncernu Du Pont spořily systémy 100 milionů dolarů ročně. Firma jich používala 100 a 500 vyvíjela. Téměř každá důležitá korporace v USA nějaký expertní systém používala nebo jej alespoň vyvíjela. (Russel a Norvig 2009, s. 24) Jejich uplatnění bylo široké od medicínské diagnostiky po využití v bankovních institucích jako vyhodnocování bonity klienta či predikce vývoje akcií. S postupem času se ukázalo se, že není možné, aby expertní systémy experta nahradily, a řeší spíše úlohu asistenta. (Berka 2003, s. 42)

5.12.2 Počítače 5. generace

Ambicióznost projektu počítače 5. generace odhaluje už jeho název označující revoluční kvalitativní skok ve vývoji počítačů. 4. generace počítačů vznikla jen několik let před vyhlášením tohoto projektu a odstartovala ji výroba mikroprocesorů. (Odagiri et al. 1997, s. 193) V dnešní době se spekuluje, že pozici páté generace by v budoucnosti mohly obsadit kvantové počítače.

Projekt páté generace počítačů měl vyvinout počítače schopné mnoha paralelních procesů a strojového učení za pomoci logického paralelního jazyka KL1. Po dekádě vysoce dotovaného výzkumu byl představen prototyp, který výše zmíněné podmínky splňoval, přesto je projekt pokládán za neúspěšný, protože se jeho produkty neměly šanci v konkurenci znatelně prosadit a k očekávané revoluci ve světě počítačů se nepřiblížily. Projekt nových superpočítačů vznikl na objednávku japonské vlády a jeho celkové náklady se pohybovaly okolo 400 milionů dolarů. Cíl projektu vznikl na základě teoretických rozprav vědců a uživatelů. Konečný plán byl poté představen v roce 1982 na mezinárodním sympoziu, kterým se z určitého pohledu uspil vývoj umělé inteligence větší měrou než samotnou realizací projektu. (Odagiri et al. 1997, s. 194–196; Pollack 1992) Jak je popsáno v úvodu této kapitoly, ostatní státy, zejména USA, se nechtěly nechat zaskočit novým technologickým skokem a začaly financovat výzkum informačních technologií na svém území. V USA vzniklo Korporace pro mikroelektroniku a počítačové technologie MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation), výzkumné konzorcium, do kterého přispívaly komerční subjekty. (Russel a Norvig 2009, s. 24) Mimo USA tento impuls pomohl v roce 1983 vzniku výzkumného projektu na podporu informačních technologií Evropské unie ESPRIT (European Strategic Program on Research in Information Technology) a britskému Alvey ve Velké Británii. (Nielsen 1988) V případě Británie se jednalo o spásnou injekci, jelikož v důsledku tzv. Lighthilovy zprávy z roku 1973 se vládní podpora do výzkumu umělé inteligence v Británii omezila pouze na tři univerzity (Russel a Norvig 2009, s. 24).

V roce 1995 byl projekt počítačů páté generace ukončen.¹⁵ Přestože dosáhl nadějných úspěchů zejména v počátcích, další kroky již neplnily vysoká očekávání. Během dekády vznikly dostupnější informační technologie, které s sebou nenesly problémy tohoto náročného projektu. (Pollack 1992)

¹⁵ Základní projekt byl ukončen v roce 1992. Mezi lety 1993 - 1995 se odehrávala poslední nastavbová fáze. (Odagiri et al. 1997, s. 196)

5.12.3 Komerční využití neuronových sítí

Vzkříšení neuronových sítí vzbudilo velká očekávání, která s sebou přinesla stejně jako v případě expertních systémů či počítačů 5. generace ohromný nárůst investic, ale i u nich došlo zákonitě ke zklamání. Nový úpadek popularity neuronových sítí, o kterých odborník na informační systémy v obchodování Murray Ruggiero hovoří jako o miláčcích Wall Street 80. a raných 90. let, nebyl zapříčiněn jejich nefunkčností, ale tím, že byly považovány za jakousi kouzelnou formuli a nesplnily vysoká očekávání obchodníků. Milionové investice do nich se nevyplácely a tyto produkty často selhávaly. Jedním z problémů bylo, že se nehledaly způsoby, jak vhodně využít jejich možnosti, ale investovalo se do výroby neuronových sítí pro konkrétní cíle, ve kterých pak nebyly úspěšné, protože je svými vlastnostmi ani splnit nemohly. Pro užitečné aplikování neuronových sítí v praxi bylo zapotřebí činit mnoho experimentů. Klasické dopředné algoritmy neuronových sítí jako algoritmus zpětného šíření se musel trénovat několik dní na velkém objemu dat na počítači typu Pentium. Veliké množství učících procesů spolu s pomalostí učení činilo vývoj neuronových sítí mnohem dražší než vývoj klasických řešení. Metoda zpětného šíření navíc vyžadovala rozdělení dat do tří částí - jedné na učení sítě, druhé na vyhodnocení sítě a třetí na testování sítě kdykoliv během vývoje. To činilo např. u obchodních aplikací problémy, které se řešily vynecháním testovací části dat, což s sebou neslo další problémy. Bylo také obtížné určit vhodný čas k učení sítě, aniž by se tzv. přetrénovala. Později se objevily metody, jak podobné problémy zmírnit (např. testování na menším vzorku dat), ale v 80. letech a na začátku 90. let ještě nebyly aplikovány. (Ruggiero 1999, s. 52–53)

6 NOVÉ PŘÍSTUPY UMĚLÉ INTELIGENCE

Na začátku 90. let nesplaskla pouze investiční bublina, ale jako už po několikáté se musela přehodnocovat očekávání, která se s umělou inteligencí spojovala. Tato změna se však nevztahovala pouze k některému z paradigmat, ale i k celkovému konceptu umělé inteligence. Uvádí se dokonce, že musel být zaveden nový obor inteligentní systémy založené na znalostech IKBS (Intelligent Knowledge-Based Systems), protože umělá inteligence byla oficiálně zrušena. (Russel a Norvig 2009, s. 24) IKBS ovšem pomíjí mnoho oborů umělé inteligence. Pojem AI winter, temné období umělé inteligence, je nejčastěji spojován právě s koncem 80. let a s ranými 90. lety. Tato krize ovšem pomohla rozvoji těch odvětví výzkumu, které se začaly rozvíjet v 80. letech, nové vlně umělé inteligence odmítající reprezentaci znalostí, systémům na zpracování neurčitosti a dalším. V 90. letech se zrodila mimořádně úspěšná distribuovaná umělá inteligence.

6.1 Reflexe umělé inteligence

Splasknutí investiční bubliny na počátku 90. let přineslo kromě velkého zklamání i cenná ponaučení. Velké investice umožnily značné množství experimentů a ukázaly limity, které se mohla vědecká obec pokusit odstranit, ale se kterými se musela i do určité míry smířit. Ukázalo se, že je obtížné zadat do expertního systému takové znalosti od lidského experta, aby byl systém spolehlivý v široké oblasti problémů. Tyto systémy se ještě výrazněji posunuly do role asistentů v řešení specializovaných rutinních problémů a zároveň se změnil přístup k procesu zadávání znalostí expertnímu systému. Nově se na tento problém nahlíželo jako na modelování znalostí, při kterém se vytvoří opakovaný model úlohy.¹⁶ Problematiku vhodného modelování znalostí měla řešit ontologie. Ontologie v tomto kontextu znamená sdílení pevně dané terminologie určité oblasti. (Berka 2003, s. 43)

¹⁶ Znalosti jsou díky tomuto přístupu zachycovány nezávisle na odvozovacích mechanismech konkrétního expertního systému. (Berka 2003, s. 43)

6.2 Rozvoj systémů na zpracování neurčitosti

Na poptávku po zpracování reálných, tedy často neurčitých údajů odpověděly systémy na zpracování neurčitosti fungující na principu pravděpodobnostního rozhodování. Teorie fuzzy logiky pochází již z 60. let. Lotfi A. Zadeh v roce 1971 publikoval knihu *Kvantitativní fuzzy sémantika* (Quantitative Fuzzy Semantics), ve které se připojil ke snaze formalizovat nepřesné lidské usuzování tak, aby s neurčitými informacemi bylo možné dále pracovat. Značných úspěchů dosahovala v tomto výzkumu centra na univerzitách v Japonsku. Fuzzy systémy se poprvé uplatnily v praxi roku 1981 v továrně na zpracování cementu v Dánsku, ale boom fuzzy systémů odstartoval v roce 1987 úspěšnou aplikací ve vlacích japonského města Sendai, kde kontrolovaly zrychlování, zpomalování a zastavování souprav. Od té doby se dále rozvíjejí a používají v praxi. S fuzzy systémy pracují např. i některé automatické pračky, které zpracovávají informace typu „ne příliš špinavé“, brzdy s funkcí ABS, fotoaparáty, výtahy, spam filtry a další. (Garrido 2012, s. 73–74; Lin 2007, s. 2) Velký přínos znamenaly rovněž bayesovské sítě, grafický pravděpodobnostní model neurčitosti, který umožňuje reprezentovat znalosti o částečně nezávislých evidencích. (Berka 2003, s. 44) Jejich moderní teorii sepsal John Pearl roku 1982. Pearl se inspiroval způsobem, jakým se děti učí číst a zpracovávat nové informace v souvislosti s již naučenými znalostmi. Kombinace pravděpodobnostní a grafové teorie umožnila vznik dostatečně jednoduchého systému, díky němuž by mohl počítač usuzovat pravděpodobnostně. Za použití grafového modelu bylo možné reprezentovat podmíněnou nezávislost. Pearlova práce má široké využití ve strojovém učení a porozumění přirozenému jazyku a také v dalších oborech jako ekonomie, epidemiologie či lékařská diagnostika. (Savage 2012, s. 23) Díky bayesovským sítím bylo tedy možné usuzovat na základě ne zcela jistých znalostí. Překonaly tak mnoho problémů pravděpodobnostního usuzování z 60. a 70. let a staly se dominantní metodou umělé inteligence na poli nejistého usuzování a expertních systémů. Umožňují učení na základě zkušenosti. Kombinují prvky z klasických přístupů i z neuronových sítí. (Russel a Norvig 2009, s. 26)

6.3 Nová vlna umělé inteligence

90. léta přinesla čerstvý pohled také na oblast robotiky. Starší pokusy s roboty, používající tzv. přístup shora dolů, kdy se již naprogramovaný robot měl snažit orientovat v okolí, neplnily očekávání. Problémy se týkaly závažných dluhů symbolického přístupu -

rozpoznávání obrazů a zdravého rozumu. Roboty měly problémy projít místnost, kde byly jednoduché geometrické objekty. Ty jediné byly schopny rozpoznat. DARPA investovala miliony dolarů do vidiny umělého vojáka, ale bez viditelných výsledků. V rozpoznávání obrazů přinesl nové impulzy výzkum neuronových sítí, který inspiroval nový přístup tvorby robotů zdola nahoru. Tento princip nahlížení na roboty se snažil napodobit přirozený vývoj dítěte. I dítě z počátku umí jen málo, ale postupným učením získává mnoho dovedností. (Kaku 2010, s. 114) Tento přístup k budování umělé inteligence se někdy označuje jako paradigma a je blízký robotickému funkcionalismu,¹⁷ který upřednostňuje jako projev inteligence chování před reprezentací znalostí (Volná 2013, s. 9) a někdy bývá zastřešován pojmem nová vlna umělé inteligence. Zakladatel tohoto přístupu Rodney Brooks se odklonil od tradice symbolického paradigmatu. Podle Brooksova pojetí byla nová umělá inteligence směrem bez reprezentace znalostí a usuzování. (Berka 2008, s. 151) Vlastními slovy to popsal Rodney Brooks (1991, s. 1) takto: „*Reprezentace byla hlavním tématem umělé inteligence posledních 15 let jen proto, aby vytvořila rozhraní mezi izolovanými moduly a konferenčními příspěvky*“.

Brooks, ředitel laboratoře umělé inteligence na MIT, zpočátku pracoval na hmyzích robotech. Ty nesestavil a nenaprogramoval tradičním způsobem tak, aby mohly hned po zapnutí chodit. Tito učící se roboty fungující na principu neuronových sítí se učili chodit až postupným zakopáváním. (Kaku 2010, s. 115) Dnes jsou jejich pokračovateli roboty zkoumající povrch při vesmírných výpravách. Vizionář Rodney Brooks přesunul svou pozornost z hmyzích robotů na roboty humanoidního typu. V pozadí tohoto rozhodnutí je také filozofická idea, že i lidé jsou stroje určitého typu. Podle svých slov ho zpočátku nejvíce překvapilo, že až s roboty lidského typu se lidé snaží komunikovat lidským způsobem. Tato zkušenost jen potvrdila jeho přesvědčení o důležitosti určité tělesné formy robota. (Brooks 2008) Roku 1994 se zrodil projekt COG.¹⁸ Robot s tělem ve tvaru horního lidského trupu s hlavou a pažemi měl za cíl naučit se dovednostem půlročního dítěte a být schopný interakce

¹⁷ Robotický funkcionalismus tato práce definuje v podkapitole 5.4 Základní rozdělení umělé inteligence.

¹⁸ Název COG byl odvozen ze slova cognition. (Ahmad 2003) V českém překladu poznávání.

s lidmi. Nebyl předem na tyto dovednosti programován, pouze sledoval lidského cvičitele, který ho vyučoval. Robot byl nakonec schopný řady činností jako řezání dřeva, rozpohybování dětské hračky pružinka, ale v žádném případě se nepřiblížil tomu, co vše umí malé dítě. Projekt byl zcela ukončen roku 2003 a dnes je možno COGa spatřit v muzeu MIT. (Kaku 2010, s. 115) Brooks si i přesto uchoval své vizionářství a věří možnosti silné umělé inteligence, která by mohla být i nějak roboticky ztělesněna. Vznik umělé inteligence s vědomím nepředpokládá na rozdíl od jiných prognostiků před rokem 2030. (Brooks 2008) Rodney Brooks se svými dvěma mladými kolegy Colinem Anglem a Helen Greinerovou v roce 1990 založil firmu iRobot, která vytvořila armádní roboty pro zneškodňování bomb, průzkumné roboty pro podmořský průzkum, a celosvětově se proslavila svými robotickými vysavači Roomba. (iRobot 2014) Roku 2014 Brooksova další společnost Rethink Robotics, jejímž investorem je zakladatel Amazonu Jeff Bezos, uvádí na trh robota, který se nápadně podobá starému COGu. Nového robota Baxtra společnost inzeruje jako začátek nového paradigmatu, protože je schopný zdravého rozumu. (Rethink Robotics © 2008-2014) Skutečnou změnou, kterou zdůrazňuje i Brooks (2014a) je, že jde o prvního robota humanoidního typu, který je cenově dostupný a kterého může zákazník názorně učit jeho úkoly podobně jako COGa.

6.4 Paradigma inteligentního agenta

Princip vzájemně komunikujících agentů popsal již v roce 1986 Marvin Minsky v knize *Společenství mysli* (The Society of Mind). Fungování mysli přirovnal k systému vzájemně interagujících agentů, kteří vnímají signály ostatních agentů a vykonávají jednoduché akce. Svůj úhel pohledu do teorie agentů vnesl Brooks se svou subsumpční architekturou reaktivního agenta a svým odmítnutím tradice symbolistů. Brooks prohlásil, že inteligence vzniká ze vzájemné interakce jednoduchých reaktivních agentů. Brooksovo pojetí nové umělé inteligence se obešlo bez reprezentace znalostí a usuzování. (Berka 2008, s. 151) Výzkum agentů se dá rozdělit na tři oblasti: agenty v robotice, ve virtuálním prostředí a groupware. V případě robotiky se jednalo o agenty nějakým způsobem fyzicky ztělesněné jako různé modely hmyzu. V rámci systémů založených na fungování agentů existují základní přístupy: deliberátní, reaktivní, sociální a hybridní. Hybridní architektura spojuje prvky klasické architektury deliberátních agentů s přístupem reaktivních agentů. (Costa et al. 1995, s. 1–2)

6.4.1 Reaktivní agent se subsumpční architekturou

Reaktivní agent je jednodušší druh agenta reagujícího na podněty. Řeší úlohy v závislosti na přichozím souboru vjemů. Může jím být i expertní systém 1. generace. (Mařík et al. 1997, s. 144) Brooksův reaktivní agent se subsumpční architekturou je založený na principu vrstev aktivit. Spodní vrstva má vždy přednost, pokud není aktivní, nastupuje vrchní vrstva. Robot má např. primární úkol vyhýbat se překážkám, sekundární bloudění a terciální nejvrchnější vrstvu zkoumání. Okolí může zkoumat za pomoci nejrozličnějších senzorů. Takový agent může simulovat chování jednoduchých živočichů. Roku 1994 vytvořil Jonathan H. Connell model pobřežního slimáka, který se pohyboval vzhůru v reakci na gravitaci a vyhledával tmu v reakci na světlo. Reaktivní agent podle Brookse zkoumá okolí různými druhy senzorů. (Berka 2008, s. 151)

6.4.2 Multiagentní systémy (deliberátních) agentů

Deliberátní agentové systémy jsou na rozdíl od Brooksových reaktivních agentů založené na tradičním symbolickém paradigmatu. Symbolický model světa je těmto agentům reprezentován pomocí logického usuzování. V rámci tohoto přístupu je nejčastěji centrální částí plánovací systém umělé inteligence. Tyto systémy s sebou nesou problémy, se kterými se symbolický přístup potýkal i v minulosti: problém rámců znesnadňující efektivní reprezentaci znalostí, nedostatečnou výpočetní sílu a obtížnou reakci na neočekávané události, jakými jsou akce jiných agentů. Realita, se kterou se systém potýká, musí být zpracována co nejpodrobněji, aby systém fungoval co nejefektivněji. (Costa et al. 1995, s. 1–2) Základy výzkumu distribuované inteligence vychází ze systémů určených k řešení problémů. Jeho cílem je zkoordinovat agenty tak, aby se byly schopny účastnit řešení problému. (Durfee a Rosenschein 1994, s. 2–3) Pro rozvoj agentových systémů bylo zásadní, aby se naučily pracovat s neurčitostí. Tomu výrazně napomohl Jude Pearl, když v roce 1988 publikoval práci *Pravděpodobnostní usuzování v inteligentních systémech* (Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems), kde do hloubky rozebíral praktické využití pro usuzování a rozhodování. Jedním z nejpoužívanějších prostředí pro práci agentů je internet, kde se agentové systémy využívají ve vyhledávacích, doporučovacích systémech, systémech pro tvorbu webových stránek a mnoha dalších aplikacích webu. Multiagentní systémy (emergentní nebo hybridní) mohou kombinovat různé typy agentů. Tyto systémy jsou nyní

velmi úspěšné a neustále se rozvíjejí. Agentové systémy se aplikovaly např. při výrobních procesech, které závisí na mnoha jednotlivých prvcích, jako je složitá tovární výroba. Tím, že systém nemá centrální část a agent samotný má pouze část informací, pomáhá v organizaci složitých organizačních postupů s mnoha kritickými místy. Jednotlivý agent nemusí být informován o celém procesu, ale kontroluje pouze svůj úsek, na který byl určen. Systémy tohoto typu našly uplatnění v mnoha odvětvích. (Sycara 1998, s. 80; Mařík 2013)

6.5 Rozpoznání řeči a obrazu

V 90. letech se podařil průlom na poli rozpoznání řeči díky tzv. skrytým Markovovým modelům. Jedná se o pravděpodobnostní matematické modely schopné zpracovat signály s různou délkou trvání. (Bardoňová a Provazník 2000, s. 1–2) Kromě zpracování řeči jsou využitelné při analýze signálů EKG a EEG, rozpoznání rukou psaného písma, pohybu robotů v prostoru a částečně rozpoznání obrazu. (Hlaváč 2008, s. 3)

6.6 Úspěchy na konci 90. let

Hodnocení úspěchů umělé inteligence se potýká s AI efektem a omezením financování výzkumu po počátečním zklamání. V 90. letech sice v části oboru nastala skepse, ale s postupujícím časem a dalším technologickým pokrokem se ukazovalo, že i část oboru vyšla z módy má své uplatnění. Neuronové sítě se uplatnily v dataminingu. Velmi přínosné bylo studium pravděpodobnostního usuzování Judea Pearla a jeho Bayesovské sítě. Dalšími příklady jsou robotika, reprezentace znalostí a počítačové vidění. Počítačové vidění prošlo do dnešní doby ohromným vývojem a je vysoce zhodnocené v mnoha produktech. Mimo jiné se zasloužilo o vývoj v robotice. Přitom i jeho výzkum prošel obdobím zklamání. Rozpoznání řeči selhalo v 70. letech, aby se v 90. letech dočkalo uznání díky výsledkům založených na skrytých Markovových modelech. Na konci 90. let již byly viditelné úspěchy umělé inteligence, přestože bylo obtížné určit, co ještě do umělé inteligence zařadit. Lepší porozumění problémům a narůstající matematická sofistikovanost vedly k reálným úspěchům výzkumu, ale zdokonalování a specializace některé obory z určitého pohledu od umělé inteligence oddělila. (Russel a Norvig 2009, s. 26)

Největším praktickým úspěchem bylo využití plánovacích technik během války v Perském zálivu. S jejich pomocí byla úspěšně řízena obrovská logistická operace zahrnující

včasný přesun tisíců dopravních prostředků, nákladu a lidí. Díky plánovacím metodám byl plán přesunu hotový během několika málo hodin. Podle stanoviska DARPA se díky této jediné technice vyplatilo celé financování umělé inteligence za 30 let. V roce 1997 vrátil umělé inteligenci mediální lesk superpočítač Deep Blue společnosti IBM, když porazil Garyho Kasparova. Vylepšovaly se diagnostické metody pro medicínu a operace se prováděly za pomoci robotů. Rozvíjely se metody pro autonomní kontrolu a vznikaly úspěšné pokusy o vytvoření automobilu bez řidiče. Rozvíjely se metody pro porozumění jazyku a řešení problémů. Vznikl počítač schopný luštit klasickou křížovku za pomoci databáze starých křížovek a internetových databází. (2009, s. 27–28) Žádné z paradigmat se nedočkalo svého zániku. Tyto úspěchy byly dosaženy na základě symbolického paradigmatu, pomocí neuronových sítí, nových rodících se přístupů a pravděpodobnostních metod.

7 AKTUÁLNÍ TRENDY VE VÝZKUMU UMĚLÉ INTELIGENCE

Kromě hype křivky technologického vývoje se dá lidský přístup k technologii charakterizovat i citátem Arthura C. Clarka: „*Technologii přeceňujeme v krátkém časovém horizontu, ale v dlouhodobém ji podceňujeme.*“ (Brooks 2014b) V současnosti se blížíme některým dlouhodobým cílům umělé inteligence, které se zdály nedosažitelné. Na pokroky v rámci rozpoznávání vzorů jako jsou porozumění mluvenému slovu nebo rozpoznávání obrazů si snadno zvykáme. Můžeme vyhledávat pomocí ústního příkazu na běžném notebooku nebo chytrém mobilním telefonu. Sociální sítě nás v budoucnosti možná budou samy označovat na fotografiích. Detekování tváře je dnes poměrně rozšířenou technikou. Za těmito úspěchy stojí široká škála algoritmů, statistické výpočty a vývoj hardwaru. Velký pokrok vpřed spojený s velikými očekáváními přináší v rámci strojového učení tzv. hloubkové učení. (Hayes 2014, s. 186) V pokročilé fázi testování za účelem civilního provozu jsou zhmotnělé stroje ze sci-fi filmů - autonomní automobily a samořídící drony.

Otázkou je, co vše označit jako úspěch umělé inteligence. Zda to, co naplňuje jednu z jejich mnoha existujících nezřídka poměrně širokých definic, nebo pouze výzkum vycházející z tradičních škol a již existujících paradigmat. Například metody aplikací v chytrých telefonech, díky kterým si můžeme pouhým pobraukováním skladby zjistit její název, pracují na základě algoritmů (Grewal 2012; Poulos et al. 2013, s. 70). Práce s algoritmy je tradičně bližší symbolickému paradigmatu, ale jde o tak používaný nástroj, že si ho žádný obor nemůže zcela přivlastnit. V této kapitole uvedu nástroje vycházející z tradičních směrů umělé inteligence a zmíním i ty projekty, jejichž zařazení do umělé inteligence je relativní. Samořídící auta Googlu či úžasné schopnosti dronů existují díky souboru mnoha metod. Kromě umělé inteligence je jednou z nich teorie řízení (Spendlove 2013), která se zařazuje pod informatiku a inženýrství. Zabývá se vytvářením takových produktů, které se chovají optimálně na základě zpětné vazby z okolí (Russel a Norvig 2009, s. 30). Současná umělá inteligence se stále více zaměřuje na práci s velkými objemy dat, které jsou dnes k dispozici. (2009, s. 27)

7.1 Důvody vzestupu umělé inteligence

Informační technologie, jaké máme dnes, jsou nesrovnatelně dokonalejší a levnější než před padesáti lety. Podle některých odhadů se mělo zdokonalování počítačů na principu

Moorova zákona zastavit v roce 2002 podle jiného odhadu v roce 2022. Vyvíjí se však nové technologie, které tento mezník oddalují. Podle Raye Kurzweila je pro budoucí zlepšování počítačů slibný vývoj trojdimenzionálních samoregulačních molekulárních obvodů, který umožní další akceleraci počítačů alespoň do konce 21. století. Neroste pouze výkon klasických počítačů, ale i zařízení typu PDA a chytrých telefonů, vzrůstá spotřeba dat a internetového připojení. (Kurzweil 2014)

Kromě výkonných počítačů stojí za důvody, proč dnes zažívá umělá inteligence rozkvět, obrovské množství dostupných dat, na kterých se mohou stroje učit. Tato data jsou také stimulem k výzkumu, protože existuje poptávka po metodách, jak tato data využít. Podmínky v těchto oblastech jsou s podmínkami, jaké měl John McCarthy nesrovnatelné. Zpracovat tak ohromný objem dat je ovšem stále problém i pro dnešní počítač. To je jedním z důvodů, proč se velkými hybateli výzkumu umělé inteligence stávají velké firmy jako je Google, který nejenom dokáže data poskytnout, ale dokáže také distribuovat úkoly do tisíců počítačů.

Firma IBM, která hýbe vývojem umělé inteligence již od 50. let, je i nadále na špici a podporuje např. počítače inspirované fungováním mozku a vývoj superpočítačů jako je Watson. Watson vzbudil celosvětovou pozornost, když v roce 2011 porazil lidské šampióny kvízové hry Jeopardy.¹⁹ Watson v tomto populárním pořadu dokázal správně odpovídat na otázky, které obdržel v textové formě ve stejnou dobu jako jeho oponenti. Nepracoval jako vyhledávače, které nabídnou sadu odkazů. Porozumění otázkám soutěže, které jsou v Jeopardy někdy podobné slovním hříčkám, byla pro Watsona největší výzva. Dokázal, že počítač může být opět mediální hvězda, a zpopularizoval výsledky umělé inteligence. Watson sice nebyl připojený na internet, ale měl ve své paměti uloženy 4 terabyty informací, ze kterých vybíral správné odpovědi. (Deedrick 2011) V souvislostech s budoucností Watsona se hovoří o jeho využití v lékařské diagnostice, ale IBM se také snaží využít možností cloudu a rozvíjet aplikace do mobilních telefonů založené na kognitivním přístupu Watsona. (Miller 2013; IBM Watson Group 2014) Velké firmy v současnosti mohou nabízet vědcům podmínky, které jim neposkytne ani klasická podpora od DARPA. Google je v tomto

¹⁹ V České republice se vysílala podobná verze tohoto pořadu pod názvem Riskuj.

nepochybně nejdůležitější institucí, ale výzkum technologií podporují i další velké vyhledávače, Facebook nebo Amazon. Tyto firmy disponují obrovskými zdroji a lákají do svých řad vědecké špičky v oboru. Google skupuje nadějné firmy, které se umělou inteligencí, zejména strojovým učením zabývají, a má dostatečné prostředky na to poskytnout odborníkům zdroje pro nákladný výzkum.²⁰ (Cadwalladr 2014)

7.2 Strojové učení

Nejrychleji se rozvíjející částí umělé inteligence současné doby je strojové učení. Z něj dosahuje významného pokroku tzv. hloubkové učení. Jak dodává Rodney Brooks (2014a), strojové učení je v módě, protože díky množství dat, možnostem cloudu a dostupné počítačové síle opravdu postupuje kupředu.

Strojové učení označuje širokou škálu metod. Označuje proces, kdy email zařadí vybranou zprávu do spamu, i aktivity, které musí vykonávat tisíce procesorů. V rámci umělé inteligence se pod metody strojového učení řadí např. rozhodovací stromy, neuronové sítě, bayesovské sítě a genetické algoritmy nebo podpůrné vektory. Podle Andrewa Nga je učicí algoritmus sám o sobě jednoduchý. Komplikovanou záležitost činí z tohoto procesu až data. Uvádí za příklad studii Bankoa a Brilla z roku 2001. Ti použili tehdy dostupné učicí algoritmy (algoritmy založené na paměti, Winnow, perceptrony, naivní bayesovský klasifikátor) a porovnávali jejich účinnost. Ta byla velmi podobná a zvyšovala se pouze při nárůstu trénovacích dat. Současná nejprogresivnější a nejslibnější metoda schopná efektivně pracovat s velkým množstvím dat je **hloubkové učení**. (Ng 2012)

Méně používaným výrazem pro hloubkové učení (deep learning) jsou hloubkové neuronové sítě. Hloubkové učení (ale nejen je) použil superpočítač IBM Watson. Možnosti hloubkového učení se uplatňují v hlasovém ovládání. Microsoft jej využívá ve vyhledávači Bing a ve svých chytrých telefonech. Aplikování hloubkového učení mimo oblasti rozeznávání obrazů a mluveného slova je zatím otázka budoucího vývoje, protože jde o nástroj náročný na výpočetní sílu. Díky použití hloubkového učení se snížil počet chyb

²⁰ V roce 2014 koupil Google britskou firmu Deepmind, která se specializuje na strojové učení a pokročilé algoritmy, za 400 miliónů dolarů. (Gibbs 2014)

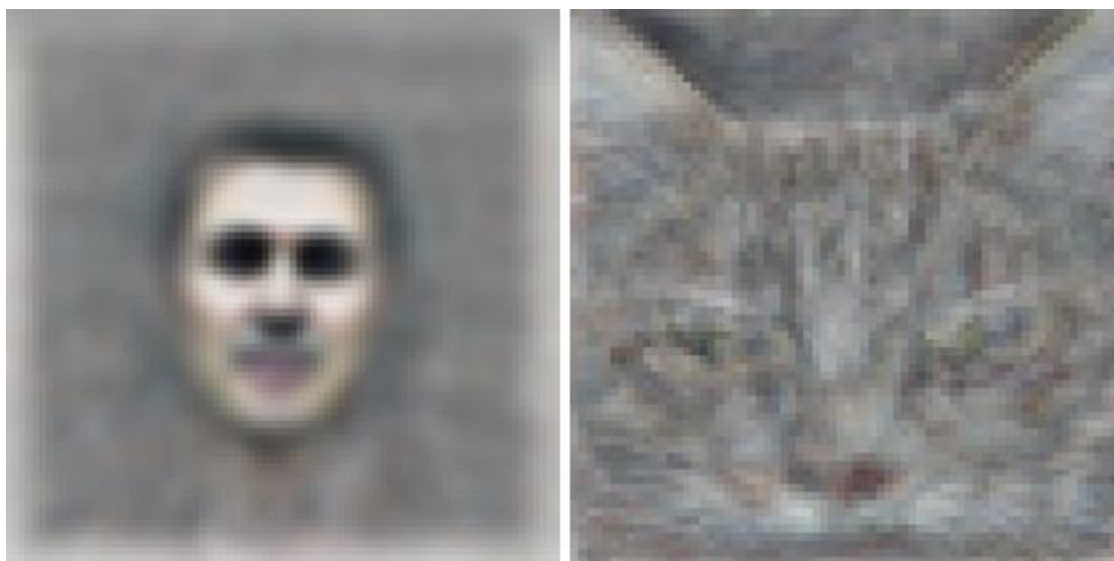
v porozumění mluvenému slovu v chytrých telefonech Android o 25 % a napomohl porozumění řeči i v rušném prostředí. (Hof 2013, s. 33)

Jednou z inspirací hloubkového učení je plasticita mozku. Plasticité vlastnosti mozku využívají pokusy o smyslové vnímání jinými než klasickými cestami. V roce 2001 se pomocí kamery a elektrod položených na jazyk podařilo umožnit částečný zrakový vjem od narození nevidomým osobám. (Sampaio et al. 2001, s. 1) Podobných úspěchů bylo dosaženo v oblasti lidské echolokace. Vznikl haptický opasek, který přidává svému majiteli smysl, kde se nachází světové strany. Pokusy na zvířatech dokázaly, že sluchová nebo somatosenzorická část neokortexu je schopna se adaptovat a naučit se vidět. Tato funkce inspiruje některé vědce k tomu, že je-li nějaká část neokortexu schopná naučit se vidět, mluvit nebo slyšet, je možné, že existuje jeden učicí algoritmus, který umožní to samé neuronové síti. (Ng 2014)

Neuronové sítě se po dlouhou dobu učily na určitém počtu tříděných dat v procesu tzv. učení s učitelem. Tento způsob učení spočíval v tom, že se sítím předvede zadání i výsledek, který se od něj očekává, jako např. rozeznat znaky abecedy. Třídění dat bylo časově náročné a pracné. Způsob učení bez učitele znamená, že síť se snaží rozeznat vzory v neroztříděných datech bez znalosti výsledku. V 80. let Geoffrey Hilton a jiní vědci navrhli efektivnější způsob učení s učitelem, ale neuspěli, protože počítačová technika ještě nebyla dostatečně rychlá a nebyl k dispozici dostatek roztříděných dat. V roce 2005 už byla situace daleko nadějnější a Geoffrey Hinton a Yann LeCun navrhli vylepšení učení vícevrstevných sítí bez učitele. Jejich koncept nebyl zcela nový, ale díky vylepšeným algoritmům, dostatku dat a rychlejším počítačům byl mnohem úspěšnější. Poptávka po práci s netříděnými nijak neohodnocenými daty je velká, protože taková data se pořizují nejčastěji např. jen tím, že se vytvoří digitální fotografie nebo kamerový záznam, a umístí na internet. LeCun sám vytvořil konvoluční síť, systém inspirovaný biologií pro rozpoznání obrazu. Jejich trénink se označuje jako kombinace učení s učitelem a bez učitele, protože kombinuje velké množství počáteční netříděných dat (pro stanovení vah pro každou vrstvu sítě) a posléze menší množství tříděných dat. Oba tyto přístupy, učení bez učitele a kombinovaný způsob učení, zásadně vylepšily moderní neuronové sítě. (Anthes 2013, s. 14)

Hloubkové učení je ideální po práci s velkými daty a jejich výzkum z velké části financuje Google a Facebook, aby si zajistily co nejlepší rozeznávání obrazů a zvuku. Projekt společnosti Google stojí za zatím největším úspěchem hloubkového učení. (Hayes 2014,

s. 189) Roku 2012 vědci ze společnosti Google a ze Stanfordovy univerzity v čele s Quocem V. Leem a Andrewem Ngem představili jednu ze zatím nejobjemnějších neuronových sítí. Tento projekt je znám také pod názvem *Google Brain*. Síti bylo předvedeno 10 miliónů náhodně vybraných neoznačených obrázků z videí YouTube. Pro trénink této sítě poskytl Google 16.000 počítačových procesorů. Učení probíhalo 3 dny metodou bez učitele. Síť sama na základě shlédnutých obrázků vytvořila koncept hlavy kočky, lidské tváře a těla. Na obrázku 2 je optimální obrázek kočky a lidské tváře, který by síť správně poznala, vytvořený metodou číselné podmíněné optimalizace. Síť se dále otestovala na obrazové databázi roztríděných obrázků ImageNet, kde měla zařadit obrázky do jedné z jejich 22.000 kategorií. Podařilo se jí to s přesností 15.8% a byla tak v rozpoznávání objektů o 70% úspěšnější než jiné předchozí metody. Náhodný odhad přitom dosahuje přesnosti pouze 0,005%. (Le et al. 2012, s. 1–7) Pokud se počet kategorií snížil na 1.000, úspěšnost se zvedla nad 50%. (Le 2012, s. 18) Hlubkové učení je díky Googlu efektivní i díky tomu, že Google dokáže rozdělit procesy mezi mnoho počítačů. (Hayes 2014, s. 188)



Obrázek 2 Ideální zobrazení tváře a kočky pro detekování pomocí hloubkového učení (Google © 2012)

Úspěchu dosáhl i tým Torontské univerzity (University of Toronto) s Geoffrey Hintonem metodou učení s učitelem na konvoluční síti. Učení trvalo 6 dní na 1.2 miliónu roztríděných obrázků z ImageNet. Byly využity efektivních techniky proti přetrénování sítě

a ta byla schopná zařadit 150.000 testovacích obrázků do jedné z 1.000 určených kategorií s mírou chybovosti „top-5“ pouze 15.3%.²¹ (Krizhevsky et al. 2012, s. 1–2)

Úspěchy hloubkového učení vzbudily poptávku u firem, pro které je výhodná a dokážou ji rozvinout, tedy firmy pracující s velkými objemy dat a s dostupnými zdroji ve formě hardwaru. (Hayes 2014, s. 188) Quoc V. Le pracuje pro Google od roku 2013 a Andrew Ng je nyní nově zaměstnán v nové laboratoři umělé inteligence v Silicon Valley největšího čínského vyhledávače Baidu, aby zde tuto metodu rozvinul. (Simonite 2014b; Le 2014) Další velká osobnost rozvíjející hloubkové učení a další metody umělé inteligence Yann LeCun přijal na konci roku 2013 nabídku na pozici ředitele nového oddělení pro výzkum umělé inteligence, kterou zřídil Facebook. (LeCun 2013)

7.3 Počítače napodobující mozek

Inspirace fungováním mozku je v umělé inteligenci nejvíce tradičně zastoupena neuronovými sítěmi, ale v současnosti se velké naděje vkládají do technologií, které se vydávají cestou fyzické nápodoby mozku. Pokrok v miniaturizaci stojí za úspěchem výzkumu, který se snaží mozek napodobit budováním fyzických umělých neuronů tzv. neuromorfních čipů. (Hof 2014, s. 56)

Tradiční počítače jsou při zpracovávání informací z vnějšího prostředí omezeny svojí architekturou a výpočetní silou, ale biologický neuronový systém, jakým je mozek, zvládá automaticky zpracovávat informace z komplexního prostředí. Počítače inspirované fungováním mozku tak slibují naději na změnu tradičního fungování počítačů. (CELEST 2014)

Hlavním centrem pozornosti simulátorů mozku je mozková kůra, část mozku, kde se odehrává vědomí, vnímání, paměť a intelektuální myšlení (Vokurka a Hugo 2008). Na rozdíl od tradičního postupu vývoje počítačů - zrychlování tranzistorů, poutá mozek pozornost vědců včetně Raye Kurzweila i tím, že sice není příliš rychlý, ale je vysoce paralelní

²¹ Míra chybovosti „top-5“ znamená podíl testovacích obrázků, kterým síť nepřihodí správnou kategorii mezi 5 nejpravděpodobnějších možností. Míra chybovosti „top-1“ činila na validovaných obrázcích 36.7% (Krizhevsky et al. 2012, s. 2)

a spotřebovává na rozdíl od supervýkonných počítačů velmi málo energie. Jím inspirované počítače by v budoucnosti mohly podle některých předpovědí sloužit jako zcela nový typ počítačů. (Hawkins 2013; Adey 2009; Modha 2013) Rozvíjí se rovněž nové způsoby rozhraní mezi strojem a člověkem potažmo jeho mozkem. Ve stádiu počátečních operací s dobrovolníky jsou pokusy s implantáty do části mozkové kůry neokortexu, díky kterým by zdravotně postižené osoby mohly hýbat umělými končetinami nebo pomocí přemostění, které přenáší signály z mozku, svými vlastními paralyzovanými končetinami. (Collinger et al. 2013, s. 557; Tankersley 2014)

7.3.1 SyNAPSE

DARPA v současnosti pracuje spolu s IBM na projektu Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics (SyNAPSE), který má za cíl vyvíjet neuromorfní technologie na základě biologických modelů. V rámci tohoto projektu již byly vyvinuty synaptické nanokomponenty, které napodobují spojení mezi neurony. Cílem SyNAPSE je navrhnout celý design a architekturu složenou z nově vyvinutého neuromorfního hardwaru. (DARPA 2014) Dharmendra Mondha, vedoucí výzkumu SyNAPSE a výzkumu mozkem inspirovaných počítačů v IBM, zdůrazňuje, že IBM nejde o umělý mozek a jeho možné medicínské využití, ale o simulaci schopnosti mozku v oblasti vnímání, akce a poznávání za použití mnohem menšího množství energie, než spotřebovávají klasické počítače. V roce 2009 se IBM podařilo simulovat cerebrální kortex kočky a dále rozvíjí simulátory mozku. Předpovídá, že kolem roku 2020 by se mohly výsledky tohoto výzkumu objevit na trhu. (IBM 2014; Modha 2013)

7.3.2 Human Brain Project

Nejvíce ambiciózní a zároveň nejvíce kritizovaný je evropský Human Brain Project. Navazuje na Blue Brain Project. Vizí tohoto projektu bylo vybudovat metodou reverzního inženýrství²² mozek savce. Klíčovými cíli k dosažení této vize je vybudování nástroje pro provádění mozkových simulací, které budou schopné vytvářet modely zdravého

²² Reverzní inženýrství je proces, který z již existujícího objektu vytváří jeho model. (Britannica Academic Edition 2014a)

či nemocného mozku, vytvořením detailního modelu neokortikálního sloupce ve smyslové části mozkové kůry mladých myší. Dále za pomoci tohoto modelu objevit základní principy řídící struktury a funkce mozku, s těmito poznatky vytvořit větší detailní modely mozku a vytvořit strategii pro vybudování kompletního modelu lidského mozku. (EPFL 2011) Po úspěšném vytvoření modelu neokortikálního sloupce, jaký mají mozky myší, se v roce 2013 spojil Blue Brain Project s Human Brain Project. Je koordinovaný stejně jako Blue Brain Project Švýcarským federálním technologickým institutem v Lausanne EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne). Tento na deset let plánovaný projekt o rozpočtu 1,2 miliardy eur chce navázat na dosavadní úspěchy Blue Brain Project a veškeré nashromážděné informace o mozku použít na jeho detailním modelu. Cílem je poznat fungování mozku tak, aby bylo možné zjistit příčiny nemocí mozku, ale očekává se, že již během vývoje poskytne projekt přínos v podobě nových výkonných počítačových technologií včetně senzorů či robotů a vědeckého modelování. (Human Brain Project © 2013)

7.3.3 Teorie Raye Kurzweila

V roce 2012 začal Ray Kurzweil pracovat pro Google jako vedoucí inženýr, který má za cíl rozvíjet strojové učení a porozumění přirozenému jazyku. Tuto pozici získal na základě myšlenek, které publikoval ten samý rok v knize *Jak stvořit mysl* (How to Create a Mind). Tvrdí, že funkce neokortexu jsou založeny na systému, který funguje na principu hierarchického rozpoznávání vzorů při zpracování informací. Každá vrstva používá výstup spodní vrstvy, aby mohla pracovat s komplexními abstraktními vzory. Např. při čtení textu mozek nejprve pozná písmeno, slovo, větu a myšlenku. Google zaměstnal Kurzweila mimo jiné proto, aby se věnoval možnosti pochopení vyšších abstraktních konceptů. Jednu z metod, kterou Kurzweil pro tento výzkum využívá, jsou hierarchické skryté Markovovy modely. Mozek podle něj sice není tak rychlý a výpočetně dokonalý jako počítač, ale jeho síla spočívá v hluboce zakořeněném rozpoznávání vzorů. (Simonite 2014a)

Jím vyvinutý software má být schopen porozumět textu stejně jako člověk. Kurzweil se snaží o funkční model neokortexu, který by rozuměl abstraktním konceptům. Tato technologie se má stát revolučním způsobem vyhledávání a tento virtuální asistent by mohl při vyhledávání dokonce převzít iniciativu. (Simonite 2014) Kritici Kurzweila, ale i kritici reverzního inženýrství namítají, že stále přesně nevíme, jak neurony tvoří kognitivní

mechanismy. Profesor psychologie z Newyorské univerzity (New York University) Gary Marcus (2012) upozorňuje, že Kurzweil vytváří teorii o fungování lidské mysli, ale má nedostatečné znalosti z biologie a psychologie. Markantní je také to, že jedním z cílů je přijít na možnost nového typu počítače s nízkou spotřebou energie, ale ve skutečnosti zatím takové simulátory spotřebovávají energie obrovské množství a běží na superpočítačích. Superpočítač DAWN v roce 2009 potřeboval na simulaci 5 sekund aktivity mozku 500 sekund a spotřeboval k tomu 1,4 MW. (Adee 2009)

7.4 Výzva k vytvoření záchranných robotů

Robotika se neustále rozvíjí a zdokonaluje. Kromě průmyslových robotů dosahuje pozoruhodných výsledků i výroba robotů napodobujících zvíře či člověka, ač obvykle zůstává u prototypu. Existují tak stabilní prototypy, jako je BigDog, čtyřnohý robot americké společnosti Boston Dynamics, který dokáže udržet stabilitu i při rychlém běhu zasněženým lesem. (Ackerman 2013) Po havárii v japonské jaderné elektrárně Fukušima během zemětřesení v roce 2011 vyvstala otázka, jak je možné, že v této době neexistuje robot, který by byl schopný při katastrofě tohoto typu zasáhnout. DARPA vyhlásila novou výzvu k tvorbě poloautonomních robotů schopných operovat v nebezpečném prostředí. DARPA již financovala záchranné roboty, ale ty nebyly uzpůsobeny pro radiaci a navíc nebyly vždy úspěšné. Roboty, které mohou uspět v závěrečné soutěži, by měly zvládnout činnosti jako řízení užitkového vozidla, pohyb obtížným terénem, otevírání dveří, lezení po žebříku, zapojení hasicího zařízení a pomocí nástroje prostupovat zdi bez poškození okolí. Mají být ovládány na dálku a samostatné mají být pouze v malých úkolech. (Pratt 2014) Finále soutěže proběhne v červnu roku 2015. Jedním z favoritů je robot z dílny společnosti Google, který zatím obdržel ve zkušebních testech nejvíce bodů. (Ackerman 2014)

7.5 Samořídící prostředky

O vznik dopravních prostředků bez řidiče se dlouho snažila armáda, aby zabránila ohrožení svých pilotů a řidičů. Na dálku ovládaná letadla jsou již běžnou součástí dobře vybavených armád, ale v současnosti jsme blízko zavedení těchto strojů do civilního života. V roce 2013 představil v pořadu 60 minut Jeff Bezos z Amazonu projekt oktoptéry, která bude pouze na základě polohy GPS adresáta doručovat lehké balíčky zákazníkům. (Bezos 2013) Použití dronů, jak se těmito stroji přezdívá, s sebou nese mnoho otázek. Ať už etických

nebo bezpečnostních a legislativních. Velmi blízko rozšíření mezi veřejnost jsou i samořídící auta. Stroje, které byly tak dlouho přítomny pouze ve sci-fi filmech. Nejznámější prototyp samořídícího vozu Google je testován v běžném provozu. Pro toto auto je nezbytné dokonale poznat objekty, se kterými se v provozu setkává. Pomocí počítačového vidění třídí objekty do skupin podle jejich velikosti, tvaru, umístění a pohybu. (Google Self-Driving Car Project 2014)

I tento rozvoj samořídících aut podpořila DARPA. Od roku 2004 pořádá DARPA Grand Challenge, závody autonomních vozidel. První takový závod se odehrál v poušti a byl dlouhý 228 km. Účelem pořádání byla podpora vývoje samostatných vozidel, která by mohla být nasazena ve vojenských operacích, i mezi vědci mimo armádní výzkum. Ačkoliv první výsledky byly velmi pomalé, svěží myšlenky účastníků podnítily značný pokrok ve vývoji technologie autonomních vozidel v následujících letech. V roce 2007 již bylo cílem, aby se vozidlo orientovalo v městě podobném prostoru a řídilo se dopravními pravidly. V této soutěži zvítězil stroj z Univerzity Carnegie Mellon, ale podmínky závodu splnilo 6 z 11 vědeckých týmů. (DARPA 2013)

7.6 Obavy z umělé inteligence

Úspěchy umělé inteligence s sebou možná přinášejí další hype vlnu, ale v současné době se naděje mísí s obavami. V populárních magazínech vycházejí články o možné hrozbě, kterou nám umělá inteligence může přinést. Objevuje se strach z nezaměstnanosti a další témata spojená se vztahem člověka a technologií. Spíše teoretickou otázkou je téma singularity strojů.

7.6.1 Nezaměstnanost

Obava, že kvůli strojům přijdou lidé o práci, vedla dělníky během průmyslové revoluce k protestům spojených s ničením strojů. V dnešní době k ničení strojů nedochází, ale např. protesty taxikářů ve Francii, Velké Británii a Německu namířené proti mobilní aplikaci Uber názorně ukazují, že obava ze ztráty z ohrožení pracovních pozic kvůli rozvoji technologie není pouhou teorií.

Téma strachu o pracovní místa kvůli novým úspěchům umělé inteligence je opět velmi diskutované. Dr. Stuart Armstrong z oxfordského Ústavu budoucnosti lidstva (Future

of Humanity Institute) předpovídá, že ztráta pracovních pozic se dotkne zejména odvětví jako logistika, administrativa či pojišťovnictví a že nová pracovní místa nebudou vznikat tak rychle, jak budou staré pozice zanikat. (Prynne 2014) Martin Ford dodává, že na rozdíl od průmyslové revoluce, kdy se pracovníci, kteří byli v jedné rutinní činnosti nahrazení stroji, přesunuli k další rutinní práci, v současnosti možnosti nových technologií dosahují využití v mnohem širší oblasti a zasahují do každého sektoru ekonomiky. Roboty jsou flexibilnější a levnější než kdy dříve. Poprvé se začíná hovořit o tom, že stroje nahradí intelektuální práci, kterou mohl zastávat pouze člověk. Tyto odhady podnítily zejména pokroky ve strojovém učení. (Ford 2013) S novými nadějnými vynálezy typu samořídících aut, čím dál dokonalejších průmyslových robotů a novými efektivní způsoby pro rozpoznávání vzorů nastává obava, že ohrožené nebudou pouze monotónní práce. (Frey a Osborne 2013, s. 3)

Podle studie Carla Benedikta Frey and Michaela A. Osborna z Oxfordské univerzity (University of Oxford) jsou nejvíce ohrožené rutinní práce typu zadávání dat či telemarketing. Frey s Osbournem hodnotili pravděpodobnost nahrazení počítačem u 702 typů pracovních míst. Došli k závěru, že v ohrožení je 47 % pracovních míst v USA, které by mohly být do a deseti nebo dvaceti let nahrazeny nějakým typem stroje. Ohroženy jsou zejména málo placené práce s malým nárokem na vzdělání. (Frey a Osborne 2013, s. 1) Rodney Brooks těmto obavám oponuje a tvrdí, že stroje vykonávají nebezpečnou a nezajímavou práci. Na konci je ovšem stejně zodpovědný člověk. Lidé také mohou stroje své práci učit. Navíc vidí přínos robotů v péči o nemocné, kde mohou ulehčit personálu, který se může soustředit na kvalitnější péči o pacienty, a umožnit některým lidem samostatnost. (Brooks 2014a) Stroje podle něj poskytnou lidem větší množství volného času a učiní je celkově šťastnějšími. Předpovídá, že stroje pomohou řešit problémy spojené s nepříznivým demografickým vývojem, který v budoucnu zmenší podíl populace v produktivním věku. Stroje mohou nahradit chybějící sílu a hlavně pomoci s péčí o lidi ve vyšším věku (Brooks 2014b)

7.6.2 Příliš dokonalé stroje

Ray Kurzweil ve své knize z roku 2005 *Singularita se blíží* (The Singularity is Near) popsal budoucnost, kdy dojde k singularitě - bodu, kdy stroje dosáhnou úrovně lidské úrovně. Kurzweil předpokládal exponenciální růst výkonu technologií a tento bod očekával již roku 2045. Stroje se dostanou na úroveň inteligence člověka a budou svou inteligenci neustále

navyšovat. Člověk se strojem prolne a dosáhne tak nesmrtelnosti např. tím, že nové technologie zničí tělesné choroby. (Kurzweil AI 2009; Kurzweil 2009) Pro Kurzweila je tato vize velmi optimistická. Tato jeho hypotetická idea je částí širokého záběru myšlenek, které Kurzweil publikuje. Z nich ne všechny jsou tak exaktní a úspěšné jako jeho výsledky v porozumění řeči. Sám Kurzweil se na singularitu a s ní spojenou naději na nesmrtelnost připravuje tím, že pečlivě dbá o svou fyzickou stránku (Calwallder 2014) Otázka rostoucích možností strojů se odráží i v dnešní populární kultuře. V roce 2014 se dva hollywoodské velkofilmy *Her* a *Transcendence* věnovaly otázce splynutí člověka s technologií a zosobnění operačního systému.

Odvážné Kurzweilovy předpovědi se přes jeho genialitu považují za přehnané. Příkladem tohoto postoje je česky kybernetik Vladimír Mařík (2013), který považuje každý odhad v umělé inteligenci za příliš optimistický. Již v současnosti jsme svědky toho, že díky prediktivní analýze a množství komunikace probíhající prostřednictvím internetu řadu lidí znepokojuje, že o nich počítače vědí příliš mnoho. Obavu z vývoje rozpoznávání vzorů posílilo odhalení, že Národní bezpečnostní agentura USA sleduje internetovou komunikaci a používá software pro rozpoznávání obličeje (Risen a Poitras 2014).

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat vývoj ve výzkumu umělé inteligence z hlediska změn paradigmatu a analyzovat současné tendence. Přestože se mezi vznikem moderní umělé inteligence v roce 1956 a současností vystřídaly generace vědců a došlo k obrovskému technologickému skoku, lze na mnoha současných produktech umělé inteligence sledovat, že jejich kořeny sahají k raným letům jednotlivých paradigmat. Tento vývoj nebyl zcela kontinuální. Opakovaně docházelo k obdobím, kdy se po zklamání z velkých očekávání finanční podpora od některé části výzkumu umělé inteligence odvrátila. Nešlo však o definitivní ztrátu zájmu. Nové technologie po opadnutí přehnaných očekávání obdobím vystřízlivění zákonitě procházejí. V případě umělé inteligence je také důležité uvědomit si, že vědci museli nezdědka vyčkat, až budou k dispozici dostatečně výkonné počítače pro jejich cíle. Jakmile se objevil pokrok v hardwaru, invence výzkumných pracovníků přinesla nové způsoby, jak s umělou inteligencí pracovat.

Počáteční úspěchy oboru daly vzniknout velikým nadějím, protože se počítačům dařilo řešit složité matematické výpočty. Postupem času se ovšem ukázalo, že největší problém způsobuje počítačům porozumět světu alespoň na takové úrovni, jako to umí každé malé dítě. Ale ani s obrovským přístupem k datům, které mají počítače dnes, nezvládají porozumět světu jednoduše na úrovni dítěte. Na druhou stranu ani nejchytřejší člověk není schopen některých činností, které jsou pro počítač triviální. Na otázku, měl-li by se počítač vůbec snažit člověka napodobit, neexistuje mezi současnými představiteli oboru jednoznačná odpověď.

Symbolické paradigma postavené na logice, algoritmech, formalizaci kognitivních funkcí člověka, reprezentaci znalostí a konekcionistické paradigma spojené s neuronovými sítěmi byly hlavními směry, jimiž se umělá inteligence vydala, a na kterých je z větší části postavena dodnes. V současnosti se užívá kombinace technik z různých větví výzkumu. Historicky se však mezi symbolickým paradigmatem a ostatními přístupy objevovala rivalita, která není zcela zapomenutá ani dnes. Projekty modelování mozku jsou velmi nákladné stejně tak jako neuronové sítě pracující s ohromným množstvím dat, které potřebují dostatečnou oporu v hardwaru. Je otázka, zda i dnes nedochází pouze k další vlně přehnaného očekávání, ale skok ve vývoji informačních technologií opravdu vede k cílům, které se zdály neuskutečnitelné. Dnešní umělá inteligence také používá nástroje z různých oborů a není vždy snadné určit, co už do umělé inteligence patří a co nikoliv. Za současnými úspěchy umělé

inteligence stojí v první řadě vývoj cenově dostupných technologií. Internet a cloud nabízejí nové možnosti pro rozvoj umělé inteligence. Důležitými investory v této oblasti jsou firmy pracující s velkými objemy dat, jako jsou internetové vyhledávače a sociální sítě, které se stávají lídry na poli výzkumu v těchto oblastech. V současnosti existuje mnoho úspěšných metod, které tato práce neměla prostor zahrnout, pojednány jsou pouze ty, které jsou nejčastějším tématem diskuzí současné umělé inteligence a od kterých se mnoho očekává.

Přestože financování výzkumu umělé inteligence procházelo svými krizovými lety, konečný výsledek je pozitivní. Úspěch umělé inteligence v USA ukazuje, jak může stát efektivně podporovat výzkum ve spolupráci s univerzitami a komerčním sektorem. Tradiční efektivní podpora vědy se vyplatila v podobě aplikace výzkumu pro potřeby trhu nebo státu. Univerzity a komerční firmy tradičně spolupracují velmi efektivně a úspěch z této spolupráce mají obě zapojené strany.

Neurověda je tradiční inspirací umělé inteligence, ale v současnosti je inspirace neurovědou silná i mimo obor neuronových sítí. Důvodem tohoto zájmu jsou např. neuromorfní technologie, superpočítače nebo ohromné objemy dat. Všechny tyto možnosti či jejich kombinace lákají vědce k tomu přiblížit se napodobení funkcí mozku tak, jak to v minulosti nebylo možné. Ukáže až čas, zda se díky tomuto přístupu zrodí zcela nový druh počítačů nebo snad díky reverznímu inženýrství pronikneme do všech tajů mozku. Vývoj v rozpoznávání vzorů, který přináší hloubkové učení, by se mohl v budoucnosti přiblížit tomu, že by počítače samy poznávaly rozmanité objekty na fotografiích a videích, což je jedním z dlouhodobých cílů společnosti Google. Velké objemy dat přinášejí mnoho poptávky po metodách, jak je využít. Umělá inteligence některé nabízí a bezpochyby nabídne do budoucna nové. Je ale také možné, že se např. vývoj nadějného hloubkového učení zastaví na současné úrovni nebo o něco málo lepší. Chybou některých osobností umělé inteligence byla představa, že úspěšné počiny v minulosti zákonitě znamenají velmi úspěšnou budoucnost. Současní vědci bývají touto historií poučeni a rozlišují mezi sci-fi a vědou. Ale není překvapující, že v osobních rozhovorech vyjde často najevo, že mnozí z těchto vědců byli v dětství fanoušky sci-fi a často je tento zájem přivedl až ke studiu tohoto oboru. Vizionářství je nedílnou součástí umělé inteligence a dodává umělé inteligenci kouzlo, bez kterého by byl tento obor chudší. Současná umělá inteligence má před sebou mnoho příležitostí a bude velmi zajímavé sledovat, jak je využije.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABRAHAM, Tara H., 2002. (Physio)logical circuits: The intellectual origins of the McCulloch–Pitts neural networks [online]. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*. 31 Jan. 2002, vol. 38, no. 1, s. 3–25 [vid. 1. červenec 2014]. ISSN 00225061. Dostupné z EBSCO (doi): <http://dx.doi.org/10.1002/jhbs.1094>

ACKERMAN, Evan, 2013. BigDog Throws Cinder Blocks with Huge Robotic Face-Arm. *IEEE Spectrum* [online] New York: IEEE, 1 Mar 2013 0:03 GMT [vid. 1. červenec 2014]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/bigdog-throws-cinder-blocks-with-huge-robotic-facearm>

ACKERMAN, Evan, 2014. DARPA Robotics Challenge Finals: Dates, Location, and Everything Else You Need to Know. *IEEE Spectrum* [online]. New York: IEEE, 1 Mar 2013 0:03 GMT [vid. 1. červenec 2014]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/darpa-robotics-challenge-finals-details>

ADEE, Sally, 2009. IBM Unveils a New Brain Simulator. *IEEE Spectrum* [online]. New York: IEEE, 18 Nov 2009 20:32 GMT [vid. 28. červen 2014]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/ibm-unveils-a-new-brain-simulator>

AHMAD, Naveed, 2003. The Humanoid Robot Cog. *Crossroads* [online]. December 2003, vol. 10, no. 2, s. 3–3 [vid. 3. květen 2014]. ISSN 1528-4972. Dostupné z ACM Digital Library (doi): <http://dx.doi.org/10.1145/2184319.2184327>

ANTHES, Gary, 2013. Deep Learning Comes of Age. *Communications of the ACM* [online]. June 2013, vol. 56, no. 6, s. 13–15. [vid. 2. červen 2014]. ISSN 00010782. Dostupné z EBSCO: (doi): <http://dx.doi.org/10.1145/2461256.2461262>

ASARO, Peter Mario, 2011. Computers as models of the mind: on simulations, brains and the design of early computers. In: *The Search for a Theory of Cognition. Early Mechanisms and New Ideas* [online]. Amsterdam: Rodopi, s. 89–114 [vid. 8. červen 2014]. ISBN 9042034270. Dostupné z: <http://cybersophe.org/writing/Asaro%20Models%20of%20Mind.pdf>

BARDOŇOVÁ, Jana a Ivo PROVAZNÍK, 2000. Rozpoznávání ischemické choroby srdeční pomocí skrytých Markovových modelů. In: *8. konference Matlab 2000* [online]. Praha: Ústav biomedicínského inženýrství, Fakulta elektrotechniky a informatiky, VUT v Brně, 2000 [vid. 3. červen 2014]. 3 s. ISBN 80-7080-401-7. Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab00/bardon.pdf

BEČEV, Ondřej, 2013. *Paradigmata kognitivní vědy* [online prezentace] 10. říjen 2013 [vid. 10. červen 2014] 40 snímků. Dostupné z: http://ondrej.becev.cz/upload//Becev-PARADIGMATA_CS_v4-UK.pdf

- BENTIVOGLIO, Marina, 1998. Life and Discoveries of Santiago Ramón y Cajal. *Nobelprize.org* [online]. Stockholm: Nobel Media AB, April 1998 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1906/cajal-article.html
- BERKA, Petr, 1998. *Expertní systémy*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1998. 160 s. ISBN 80-7079-873-4
- BERKA, Petr, 2003. Současné trendy umělé inteligence. *Acta Oeconomica Pragensia* [online]. 2003, roč. 11, č. 8, s. 41-46 [vid. 12. leden 2014]. ISSN 0572-3043. Dostupné z: <http://sorry.vse.cz/~berka/docs/4iz430/P00-TrendyAI.pdf>
- BERKA, Petr, 2008. Komunikace a kooperace. In: *Intelligentní systémy* [online]. 1. vyd. Praha: VŠE, 2008 s. 150–171 [vid. 6. květen 2014]. ISBN 9788024514369. Dostupné z: <http://sorry.vse.cz/~berka/docs/4iz430/P09-Kooperace.pdf>
- BERKA, Petr, 2009. *Neuronové sítě* [online]. 2009 [vid. 8. červen 2014]. 18 s. Dostupné z: http://sorry.vse.cz/~berka/docs/izi456/kap_5.4.pdf
- BEZOS, Jeff, 2013. Interview. In: *60 minutes* [online]. CBS 1. prosince 2013 14:08 [vid. 22. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>
- Britannica Academic Edition*, 2014a. *Compaq Computer Corporation* [online]. Chicago (IL, USA): Encyclopædia Britannica Inc, 2014 [vid. 29. červen 2014]. Dostupné z Britannica Academic Edition: <http://www.britannica.com>
- Britannica Academic Edition*, 2014b. *Philosophy of common sense* [online]. Chicago (IL, USA): Encyclopædia Britannica Inc, 2014 [vid. 13. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.britannica.com>
- BRODSKÝ, Petr, 1994. Fuzzy logika. *Vesmír* [online]. 1994, roč. 73, č. 12 [vid. 5. leden 2014]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/clanek/fuzzy-logika-%282%29>
- BROOKS, Rodney, 1991. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*. 1991, vol. 47, s. 139–159. Dostupné z: <http://people.csail.mit.edu/brooks/papers/representation.pdf>
- BROOKS, Rodney, 2008. I, Rodney Brooks, Am a Robot. *IEEE Spectrum* [online]. New York: IEEE, 1 Jun 2008 15:20 GMT [vid. 2. květen 2014]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/i-rodney-brooks-am-a-robot>
- BROOKS, Rodney, 2014a. Interview. In: *Charlie Rose: Rodney Brooks* [online]. 7. května 2014 12:39 [vid. 7. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.hulu.com/watch/633396>
- BROOKS, Rodney Brooks, 2014b. More Robots Won't Mean Fewer Jobs. *Harvard Business Review* [online]. Boston (MA, USA): Harvard Business School Publishing, 11:00 AM June 10, 2014 [vid. 23. červen 2014]. Dostupné z: <http://blogs.hbr.org/2014/06/more-robots-wont-mean-fewer-jobs>

CADWALLADR, Carole, 2014. Are the robots about to rise? Google's new director of engineering thinks so.... *The Guardian* [online]. London: Guardian Newspapers, February 22, 2014 19.04 GMT [vid. 28. červen 2014]. ISSN 0261-3077. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/technology/2014/feb/22/robots-google-ray-kurzweil-terminator-singularity-artificial-intelligence>

CAMPBELL, Murray, A. Joseph HOANE JR. a Feng-hsiung HSU, 2002. Deep Blue. *Artificial Intelligence* [online]. January 2002, vol. 134, no. 1–2, s. 57–83 [vid. 26. leden 2014]. ISSN 0004-3702. Dostupné ze ScienceDirect (doi): [http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702\(01\)00129-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00129-1)

CELEST, 2014. The SyNAPSE Project Outreach And Impacts. *CELEST* [online] Boston: National Science Foundation, 2014 [vid. 15. červen 2014]. Dostupné z: <http://celest.bu.edu/outreach-and-impacts/the-synapse-project>

COLLINGER, Jennifer L, Brian WODLINGER, John E DOWNEY, Wei WANG, Elizabeth C TYLER-KABARA, Douglas J WEBER, Angus JC MCMORLAND, Meel VELLISTE, Michael L BONINGER a Andrew B SCHWARTZ, 2013. High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. *The Lancet* [online]. February 2013, vol. 381, no. 9866, s. 557–564 [vid. 5. červenec 2014]. ISSN 01406736. Dostupné ze ScienceDirect: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61816-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61816-9)

COPELAND, Jack a Diane PROUDFOOT, 2012. Turing, Father of the Modern Computer. *The Rutherford Journal* [online]. 2012, vol. 4 [vid. 16. března 2014]. ISSN 1177-1380. Dostupné z: <http://www.rutherfordjournal.org/article040101.html#rosenblatt>

COSTA, Mônica, Bruno FEIJÓ a Daniel SCHWABE, 1995. Reactive agents in behavioral animation. In: *Anais do VIII SIBGRAPI* [online]. [Rio de Janeiro (Brazil)], outubro de 1995, s. 159–165 [vid. 6. květen 2014]. Dostupné z: <http://sibgrapi.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sibgrapi/2013/02.17.23.16/doc/20%20Reactive%20Agents%20in%20behavioral%20animation.pdf>

CREVIER, Daniel, 1993. *AI: The Tumultuous Search for Artificial Intelligence*. 1. vyd. New York, NY: BasicNooks, 1993. ISBN 0-465-02997-3. citováno podle MACGREGOR, Donald, Marietta BABA, Aude OLIVA, Anne Collins MCLAUGHLIN, Walt SCACCHI, Brian SCASSELLATI, Philip RUBIN, Robert M. MASON a James R. SPOHRER, 2013. Convergence Platforms: Human-Scale Convergence and the Quality of Life. s. 53 In: Mihail C. ROCO, William S. BAINBRIDGE, Bruce TONN a George WHITESIDES, ed. *Convergence of Knowledge, Technology and Society* [online]. B.m.: Springer International Publishing, Science Policy Reports, 2013. s. 53–93 [vid. 10. červen 2014]. ISBN 978-3-319-02203-1, 978-3-319-02204-8. Dostupné z: <http://www.wtec.org/NBIC2/Docs/FinalReport/Pdf-secured/02-NBIC2-FinalReport-WTECversion--web.pdf>

DAMPER, Robert I., 2006. The logic of Searle's Chinese room argument. *Minds and Machines* [online]. 5 August 2006, vol. 16, no. 2, s. 163–183 [vid. 2. únor 2014]. ISSN 0924-6495, 1572-8641. Dostupné ze Springer (doi): <http://dx.doi.org/10.1007/s11023-006-9031-5>

- DARPA, 2013. *DARPA Robotics Challenge Trials Get Off to a Positive Start* [online]. Arlington (VA, USA): DARPA, December 21, 2013 [vid. 29. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2013/12/21a.aspx>
- DARPA, 2008. *ARPA-DARPA: The Name Chronicles* [online]. Arlington (VA, USA): DARPA, 2008 [vid. 5. červenec 2014]. Dostupné z: http://www.darpa.mil/About/History/ARPA-DARPA_The_Name_Chronicles.aspx
- DARPA, 2014. *Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics (SYNAPSE)* [online]. Arlington (VA, USA): DARPA, [2014] [vid. 15. červen 2014]. Dostupné z: http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Systems_of_Neuromorphic_Adaptive_Plastic_Scalable_Electronics_%28SYNAPSE%29.aspx
- DEEDRICK, Tami, 2011. It's Technical, Dear Watson. *IBM Systems Magazine* [online]. Minneapolis (MN, USA): MSP TechMedia, February 2011 [vid. 7. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.ibmssystemsmag.com/ibmi/trends/whatsnew/It%E2%80%99s-Technical,-Dear-Watson/>
- DOHNAL, Jan a Oldřich PŘIKLENK, 2004. Životní cyklus technologií CRM a očekávání trhu. In: *Systems Integration* [online]. Praha: VŠE, s. 311–322 [vid. 30. květen 2014]. ISBN 80-245-0701-3. Dostupné z: http://www.sssi.sk/casopis/archiv/1-2005/clanky/Dohnal_Priklenk.pdf
- DORMEHL, Luke, 2014. Facial recognition: is the technology taking away your identity? *The Guardian* [online]. London: Guardian Newspapers Limited, 4 May 2014 [vid. 8. červen 2014]. ISSN 0261-3077. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/technology/2014/may/04/facial-recognition-technology-identity-tesco-ethical-issues>
- DREYFUS, Hubert L., 1992. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason* [online]. Cambridge (MA, USA): MIT Press, 1992. ISBN 9780262540674. Částečně dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=7vS2y-mQmpAC>
- DURFEE, Edmund H. a Jeffrey S. ROSENSCHEIN, 1994. Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems: Comparisons and Examples. In: *AAAI Technical Report 1994* [online]. Washington (DC, USA): AAAI, s. 52–62. Dostupné z: http://www.agent.ai/doc/upload/200405/durf94_2.pdf
- EPFL, 2011. *Goals* [online]. Lausanne: EPFL, 2011-03-19 [vid. 15. červen 2014]. Dostupné z: <http://bluebrain.epfl.ch/page-58109-en.html>
- ERBAN, Vít, 2003. Nové paradigma? Od mechanismu k organismu, od části k celku. *UNI* [online]. 2003, roč. XIII, č. 8, s. 31-34. [vid. 11. září 2013]. Dostupné z: <http://www2.tf.jcu.cz/~erban/paradigma.pdf>

FLOREANO, Dario a Claudio MATTIUSI, 2008. *Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*. Cambridge (MA, USA): MIT Press. 659 s. ISBN 9780262062718. Částečně dostupné z:

http://www.amazon.com/Bio-Inspired-Artificial-Intelligence-Technologies-Intelligent/dp/0262062712/ref=sr_1_1?s=books&ie=UTF8&qid=1405860876&sr=1-1#reader_0262062712>

FORD, Martin, 2013. Could artificial intelligence create an unemployment crisis? *Communications of the ACM* [online]. 1 July 2013, vol. 56, no. 7, s. 37 [vid. 17. červen 2014]. ISSN 00010782. Dostupné z ACM Digital Library z (doi): <http://dx.doi.org/10.1145/2483852.2483865>

FREY, Carl Benedikt a Michael A. OSBORNE, 2013. *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?* [online]. Oxford: University of Oxford, September 17, 2013. [vid. 17. červen 2014]. Dostupné z: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf

GARRIDO, Angel, 2012. A Brief History of Fuzzy Logic. *BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence & Neuroscience* [online]. February 2012, vol. 3, no. 1, s. 71–77. ISSN 20673957. Dostupné z Ebsco: <https://search.ebscohost.com>

GARTNER, 2014a. *Hype Cycle* [graf]. In: *Hype Cycle Research Methodology* [online]. Stamford (CT, USA): Gartner, Inc., 2014 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>

GARTNER, 2014b. *Hype Cycle Research Methodology* [online]. Stamford (CT, USA): Gartner, Inc., 2014 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>

GIBBS, Samuel, 2014. Google buys UK artificial intelligence startup Deepmind for £400m. *The Guardian* [online]. London: Guardian Newspapers Limited, 4 May 2014 [vid. 8. červenec 2014]. ISSN 0261-3077. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/technology/2014/jan/27/google-acquires-uk-artificial-intelligence-startup-deepmind>

GREWAL, Jubbin, 2012. Techin5 Developer Interview - SoundHound. *Techin5* [online]. Techin5, January 26, 2012 [vid. 20. červenec 2014]. Dostupné z: <http://techin5.com/2012/01/techin5-developer-interview-soundhound>

GOOGLE, 2012. Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning [online]. *Google Research Publications* [online] Google, © 2012 [vid. 24. červenec 2014]. Dostupné z: http://research.google.com/archive/unsupervised_icml2012.html

Google Self-Driving Car Project, 2014. A Ride in the Google Self Driving Car In: *Youtube* [online]. 2014-05-27 [vid. 22. červen 2014]. Kanál uživatele Google Self-Driving Car Project. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=TsaES--OTzM&feature=youtube_gdata_player

- HÁJEK, Petr, 2000. Soft computing: Nové paradigma nebo módní slogan. *Vesmír* [online]. Prosinec 2000, roč. 79 [vid. 12. leden 2014]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/files/file/fid/2718/aid/496>
- HAWKINS, Jeff, 2013. Building Brains to Understand the World's Data. In: *Youtube* [online]. February 12, 2013 [vid. 10. červen 2014]. Kanál uživatele GoogleTechTalks. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=4y43qwS8fl4&feature=youtube_gdata_player
- HAYES, Brian, 2014. Delving into Deep Learning. *AMERICAN SCIENTIST* [online]. May/June 2014, vol. 102, no. 3, s. 186–189. Dostupný z: <http://www.americanscientist.org/libraries/documents/201441714252210357-2014-05CompHayes.pdf>
- HLAVÁČ, Václav, 2008. *Rozpoznávání s markovskými modely* [online prezentace]. Praha.: Fakulta elektrotechnická ČVUT, 2008. [vid. 3. červen 2014]. 31 snímků. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/31Rozp/61MarkovianPR.pdf>
- HOF, Robert D., 2014. Neuromorphic Chips. (Cover story). *Technology Review* [online]. May 2014, vol. 117, no. 3, s. 54–57 [vid. 10. červen 2014]. ISSN 1099274X. Dostupné z EBSCO: <https://search.ebscohost.com>
- HOLLAND, Owen a Phil HUSBANDS, 2011. The origins of British cybernetics: the Ratio Club. *Kybernetes* [online]. 2011, vol. 40, no. 1/2, s. 110–123 [vid. 15. prosinec 2013]. ISSN 0368492X. Dostupné z ProQuest: <http://search.proquest.com>
- HOWE, Jim, 2007. School of Informatics: History of Artificial Intelligence at Edinburgh. *The Nature of Artificial Intelligence : A Perspective* [online]. Edinburgh: University of Edinburgh, June 2007 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.inf.ed.ac.uk/about/AIhistory.html>
- HŘÁČEK, Filip, 2013. Umělá inteligence, genetické algoritmy a niching. In: *Youtube* [online]. Brno: Google I/O Extended, 2013 [vid. 8. červen 2014]. Kanál uživatele guczgroup. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=9O87GgV_oQY&feature=youtube_gdata_player
- HUMAN BRAIN PROJECT, © 2013. *The Human Brain Project Begins - News - Human Brain Project* [online] Lausanne: EPFL, © 2013 [vid. 28. červen 2014]. Dostupné z: <https://www.humanbrainproject.eu/-/the-human-brain-project-begins?inheritRedirect=true>
- HUSBANDS, Phil, Owen HOLLAND a Michael WHEELER, 2008. *The mechanical mind in history*. Cambridge (MA, USA): MIT Press, 2008. 508 s. ISBN 978-0-262-08377-5.
- HUTCHINS, John, 2005. The history of machine translation in a nutshell. *John Hutchins: Publications on machine translation, computer-based translation technologies, linguistics and other topics* [online]. W. John Hutchins, 2001, latest revision november 2005 [vid. 5. květen 2014]. Dostupné z: <http://www.hutchinsweb.me.uk/Nutshell-2005.pd>

IBM, 2014. *Dharmendra S. Modha - IBM* [online] Armonk (NY, USA) IBM Corp, 2014 [vid. 28. červen 2014]. Dostupné z:

<http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view.php?person=us-dmodha>

IBM WATSON GROUP, 2014. Spain, United States : IBM Challenges Mobile Developers to Bring the Power of Watson to the Palm of Your Hand. *MENA Report* [online]. London: Albawaba (London) Ltd., feb 27, 2014. [vid. 5. červenec 2014]. Dostupné z ProQuest:

<http://search.proquest.com>

IROBOT, 2014. *iRobot: Our History* [online] Bedford (MA, USA): iRobot Corporation, 2014 [vid. 26. červen 2014]. Dostupné z:

http://www.irobot.com/us/Company/About/Our_History.aspx

KAKU, Michio, 2010. *Fyzika nemožného*. 1. vyd. Praha: Argo, 2010. 291 s. ISBN 978-80-257-0209-3.

KENAW, Setargew, 2008. Hubert L. Dreyfus's Critique of Classical AI and its Rationalist Assumptions. *Minds & Machines* [online]. May 2008, vol. 18, no. 2, s. 227–238 [vid. 9. červen 2014]. ISSN 09246495. Dostupné z Springer (doi):

<http://dx.doi.org/10.1007/s11023-008-9093-7>

KLINE, Ronald R., 2011. Cybernetics, Automata Studies, and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence. *IEEE Annals of the History of Computing*. 2011, vol. 33, no. 4, s. 5–16. ISSN 1058-6180. Dostupné z CS Digital Library (doi):

<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MAHC.2010.44>

KONEČNÝ, Vladimír a Oldřich TRENZ, 2010. *Základy umělé inteligence* [online]. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita: Fakulta provozně technická [vid. 8. červenec 2014]. 139 s.

Dostupné z: <https://akela.mendelu.cz/~xkosicek/UI/UI.pdf>

KRIZHEVSKY, Alex, Ilya SUTSKEVER a Geoffrey E. HINTON, 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: *Advances in neural information processing systems* [online]. Lake Tahoe (NV, USA): NIPS, 2012. s. 1097–1105 [vid. 24. červenec 2014]. Dostupné z:

<http://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf>

KRUGER, Lorenz, Lorraine J. DASTON, Michael HEIDELBERGER a Gerd Gigerenzer and Mary S. MORGAN, 1990. The Probabilistic Revolution - Vols. 1 & 2 [online]. Cambridge (MA, USA): MIT Press, 1990. ISBN 0-262-61061-2 citováno podle MIAMI UNIVERSITY (OXFORD, OHIO), 2006. *Thomas Kuhn, „What Are Scientific Revolutions?“* [online] Oxford (Ohio, USA): Miami University, 2013 [vid. 31. prosinec 2013]. Dostupné z:

<http://www.units.muohio.edu/technologyandhumanities/kuhn.htm>

KUČERA, Jiří, 1984. Wittgsteinovo a novopozitivistické zrušení metafyziky. In: *Sborník prací Filozofické fakulty Brněnské univerzity* [online]. 1984, roč. 33, č. B31, s. 73–79

[vid. 2. prosinec 2013]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11222.digilib/106504>

KUHN, Thomas Samuel, 2008. *Struktura vědeckých revolucí*. Praha: Oikoymenth, 2008. 206 s. ISBN 978-80-86005-54-6.

KURZWEIL, Ray, 2009. The Coming Singularity. In: *Youtube* [online]. 28. duben 2009 [vid. 30. červen 2014]. Kanál uživatele Big Think. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=1uIzS1uCOcE&feature=youtube_gdata_player

KURZWEIL, Ray, 2014. Biologically inspired models of intelligence In: *Youtube* [online]. 26. červen 2014 [vid. 26. červen 2014]. Kanál uživatele Google Developers. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=MG_nOddk01E&feature=youtube_gdata_player

KURZWEIL AI, 2009. The Singularity Is Near. *Kurzweil Accelerating Intelligence* [online]. KurzweilAINetwork, August 5, 2009 [vid. 8. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.kurzweilai.net/the-singularity-is-near>

LE, Quock V., 2012. *Building high-level features using large scale unsupervised learning* [online prezentace]. Stanford (CA, USA): Stanford University, 2012 [vid. 24. červenec 2014]. 24 snímků Dostupné z: http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/research.google.com/en/us/archive/unsupervised_icml2012_slides.pdf

LE, Quoc V., 2014. Quoc Viet Le. *Stanford University* [online] Stanford (CA, USA): Stanford University, 2014 [vid. 24. červenec 2014]. Dostupné z: <http://cs.stanford.edu/~quocle>

LE, Quoc V., Rajat MONGA, Matthieu DEVIN, Kai CHEN, Greg S. CORRADO, Jeff DEAN a Andrew Y. NG, 2012. Building high-level features using large scale unsupervised learning [obrázek]. In *International Conference on Machine Learning (2012)* [online]. Edinburgh, Scotland: ICML, June 2012 [vid. 26. červen 2014] Dostupné z: http://research.google.com/archive/unsupervised_icml2012.html

LECUN, Yann. [*Facebook has created a new research...*] In: Facebook [online]. 9. prosince 2013 [vid. 5. červenec 2014]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/yann.lecun/posts/10151728212367143>

LIN, Chong, 2007. *LMI approach to analysis and control of Takagi-Sugeno fuzzy systems with time delay* [online]. Berlin; New York: Springer, 2007 [vid. 26. červen 2014]. 206 s. ISBN 978354049554. Částečně dostupné z: <http://www.springer.com/engineering/control/book/978-3-540-49552-9>

MAINI, Philip K., 2012. *Turing's Mathematical Theory of Morphogenesis* [online]. January 2012, vol. 2, no. 1, s. 7-8 [vid. 29. leden 2014]. ISSN 2010-3492. Dostupné z: <http://people.maths.ox.ac.uk/~maini/PKM%20publications/327.pdf>

MARCUS, Gary, 2012. Ray Kurzweil's Dubious New Theory of Mind. *The New Yorker Blogs* [online]. New York (NY, USA): Advance Publications, November 15, 2012 [vid. 28. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.newyorker.com/online/blogs/books/2012/11/ray-kurzweils-dubious-new-theory-of-mind.html>

- MARCUS, Mitchell, 2004. The 2003 Benjamin Franklin Medal in computer and cognitive science presented to John McCarthy (Stanford California). John McCarthy's multiple contributions to the foundations of artificial intelligence and computer science. *Journal of the Franklin Institute* [online]. May 2004, vol. 341, no. 3, Special Issue on the 2003 Franklin Institute Awards, s. 215–221 [vid. 4. květen 2014]. ISSN 0016-0032. Dostupné ze ScienceDirect (doi): <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfranklin.2003.12.023>
- MAŘÍK, Vladimír, 2013. Interview. In: *Hyde Park Civilizace* [online]. Česká televize. 30. ledna 2013 55:30 [vid. 11. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/specialy/hydepark-civilizace/30.11.2013>
- MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ, Jiří LAŽANSKÝ a KOL., 1993. *Umělá inteligence (1)*. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. 264 s. ISBN 80-200-0496-3.
- MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ, Jiří LAŽANSKÝ a KOL., 1997. *Umělá inteligence (2)*. 1. vyd. Praha: Academia, 1997. 371 s. ISBN 80-200-0504-8.
- MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ, Jiří LAŽANSKÝ a KOL., 2001. *Umělá inteligence (3)*. 1. vyd. Praha: Academia, 2001. 328 s. ISBN 80-200-0472-6.
- MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ, Jiří LAŽANSKÝ a KOL., 2003. *Umělá inteligence (4)*. 1. vyd. Praha: Academia, 2003. 475 s. ISBN 80-200-1044-0.
- MILLER, Adam, 2013. The future of health care could be elementary with Watson. *Canadian Medical Association. Journal* [online]. 11 June 2013, vol. 185, no. 9, s. E367–8 [vid. 25. prosinec 2013]. ISSN 08203946. Dostupné z ProQuest (doi): <http://dx.doi.org/10.1503/cmaj.109-4442>
- MINSKY, Marvin Lee, 1989. *OH 179. Oral history interview by Arthur L. Norberg* [online]. Cambridge (MA, USA): Charles Babbage Institute, University of Minnesota, Minneapolis, 1 November 1989. 58 s. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11299/107503>
- MIRA, José Mira, 2008. Symbols versus connections: 50 years of artificial intelligence. *Neurocomputing* [online]. January 2008, vol. 71, no. 4-6, s. 671–680 [vid. 25. prosinec 2013]. ISSN 09252312. Dostupné ze ScienceDirect (doi): <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2007.06.009>
- MIT PRESS, © 2014. *Perceptrons* [online] Cambridge (MA, USA): MIT Press, © 2014 [vid. 13. duben 2014]. Dostupné z: <http://mitpress.mit.edu/books/perceptrons>
- MODHA, Dharmendra, 2013. Interview. In: *Dharmendra Modha* [online]. 7. srpna 2013 21:46 [vid. 28. červen 2014]. Kanál uživatele gigaom. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=2er6jWUGDuI&feature=youtube_gdata_player
- MUGGLETON, Stephen, 2012. Alan Turing and the development of Artificial Intelligence. *Ai Communications* [online]. December 19, 2012, vol. 27, no. 1, s. 1–14. ISSN 0921-7126. Dostupné z: <http://www.doc.ic.ac.uk/~shm/Papers/TuringAI.pdf>

MYERS, Andrew, 2011. Stanford's John McCarthy, seminal figure of artificial intelligence, dies at 84. *Stanford University* [online] Stanford (CA, USA): Stanford University, October 25, 2011 [vid. 8. prosinec 2013]. Dostupné z:

<http://news.stanford.edu/news/2011/october/john-mccarthy-obit-102511.html>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999. Developments in Artificial Intelligence. In: *Funding a Revolution: Government Support for Computing Research* [online]. 1. vyd. Washington (DC, USA): National Academy Press, 1999. ISBN 0-309-06278-0. Dostupné z: <http://web.archive.org/web/20071212023306/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html>

NAUMANN, Friedrich, 2009. *Dějiny informatiky*. 1. vyd. Praha: Academia, 2009. 242 s. ISBN 978-80-200-1730-7.

NEUBAUER, Zdeněk, 2001. *Smysl a svět - Zdeněk Neubauer*. 1. vyd. Praha: Moraviapress, 2001. ISBN 80-86181-45-6. citováno podle ERBAN, Vít, 2003. Nové paradigma? Od mechanismu k organismu, od části k celku. *UNI* [online]. 2003, roč. XIII, č. 8 [vid. 11. září 2013]. Dostupné z: <http://www2.tf.jcu.cz/~erban/paradigma.pdf>

NG, Andrew, 2012. *Deep Learning, Self-Taught Learning and Unsupervised Feature Learning*. (přednáška) [online]. NSF Math Institutes, July 10, 2012 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z:

http://www.ipam.ucla.edu/wowzavideo.aspx?vfn=10595_240.mp4&vfd=gss2012

NIELSEN, Jacob, 1988. Fifth Generation Computing Conference Report. *Nielsen Norman Group* [online] December 31, 1988 [vid. 18. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.nngroup.com/articles/trip-report-fifth-generation/>

NOVÁK, Vilém a Antonín DVOŘÁK, 2006. *Matematická logika* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006 [vid. 3. červenec 2014]. 51 s. Dostupné z: http://berta.osu.cz/dvorak2/lotem/ml_opora.pdf

NOTTURNO, Mark A., 2002. Karl Popper: The Formative Years, 1902-1945, Malachi Haim Hacohen. Cambridge University Press, 2000, xiii + 610 pages. *Economics and Philosophy* [online]. October 2002, vol. 18, no. 2, s. 351–385. ISSN 02662671. Dostupné z ProQuest: <http://search.proquest.com>.

ODAGIRI, Hiroyuki, Yoshiaki NAKAMURA a Minoru SHIBUYA, 1997. Research consortia as a vehicle for basic research: The case of a fifth generation computer project in Japan. *Research Policy* [online]. May 1997, vol. 26, no. 2, s. 191–207 [vid. 18. červenec 2014]. ISSN 0048-7333. Dostupné z ScienceDirect:(doi): [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00008-5)

OLAZARAN, Mikel, 1996. A Sociological Study of the Official History of the Perceptrons Controversy. *Social Studies of Science (Sage Publications, Ltd.)* [online]. August 1996, vol. 26, no. 3, s. 611–659 [vid. 8. březen 2014]. ISSN 03063127. Dostupné z: <http://web.cs.sunyit.edu/~mike/cs540/papers/PerceptronControversy.pdf>

OREGON STATE UNIVERZITY, 2002. *Great Philosophers: Hobbes' Mechanism* [online]. Oregon (OR, USA): Oregon State Univerzity, 2002 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: http://oregonstate.edu/instruct/phl201/modules/Philosophers/Hobbes/hobbes_mechanism.html

OSIČKA, Petr, 2012. *Jednoduché modely neuronu* [online]. 2012. [vid. 8. červenec 2014]. 11 s. Dostupné z: <http://phoenix.inf.upol.cz/~osicka/courses/uns/uvod.pdf>

PĚCHOUŠEK, Michal, 1999. Filosofie umělé Inteligence. In: *Katedra kybernetiky - ČVUT* [online]. Praha: Katedra kybernetiky, 1999 [vid. 12. leden 2014]. Dostupné z: <http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/teaching/kui/kui-phil.htm>

POLLACK, Andrew, 1992. „Fifth Generation” Became Japan's Lost Generation. *The New York Times* [online]. Published 5 June 1992 [vid. 18. červenec 2014]. ISSN 0362-4331. Dostupné z: <http://www.nytimes.com/1992/06/05/business/fifth-generation-became-japan-s-lost-generation.html>

POULOS, Marios, Ioannis DELIYANNIS a Andreas FLOROS, 2013. Efficient Audio Fingerprint Application Verification Using the Adapted Computational Geometry Algorithm. *Computer and Information Science* [online]. February 2013, vol. 6, no. 1, s. 70–82 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 19138989. Dostupné z ProQuest: <http://search.proquest.com>

PRATT, Gill A., 2014. Robot to the rescue. *Bulletin of the Atomic Scientists* [online]. January 2014, vol. 70, no. 1, s. 63–69. [vid. 1. červenec 2014]. ISSN 00963402. Dostupné z Ebsco (doi): <http://dx.doi.org/10.1177/0096340213516742>

PRYNNE, Miranda, 2014. Mass unemployment fears over Google artificial intelligence plans. *The Telegraph* [online]. London: Telegraph Media Group, 9:50AM GMT 29 Jan 2014 [vid. 17. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.telegraph.co.uk/technology/google/10603933/Mass-unemployment-fears-over-Google-artificial-intelligence-plans.html>

RASKINO, Mark, 2014. *Hype cycle visualization reveals some insights on the state of technology* [online]. Stamford (CT, USA): Gartner, Inc., February 17, 2014 [vid. 30. květen 2014]. Dostupné z: http://blogs.gartner.com/mark_raskino/2014/02/17/hype-cycle-visualization-reveals-some-insights-on-the-state-of-technology/?fnl=search&srcId=1-3478922254

REJZEK, Jiří, 2001. *Český etymologický slovník*. 1. vyd. Voznice: Leda, 2001. 752 s. ISBN 80-85927-85-3.

RETHINK ROBOTICS, © 2008-2014. *Products* [online]. Boston (MA, USA): Rethink Robotics Inc, © 2008-2014 [vid. 7. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.rethinkrobotics.com/products/overview>

- RISEN, James a Laura POITRAS, 2014. N.S.A. Collecting Millions of Faces From Web Images. *The New York Times* [online]. New York (NY, USA): The New York Times Company, 31 May 2014. [vid. 1. červen 2014]. ISSN 0362-4331. Dostupné z: <http://www.nytimes.com/2014/06/01/us/nsa-collecting-millions-of-faces-from-web-images.html>
- RUGGIERO, Murray A., 1999. Born again neural nets. *Futures: News, Analysis & Strategies for Futures, Options & Derivatives Traders*. 1999, vol. 28, no. 2, s. 52. ISSN 07462468. Dostupné z Ebsco: <https://search.ebscohost.com>
- RUSSEL, Stuart a Peter NORVIG, 2009. *Artificial Intelligence A modern approach*. 3rd ed. Upper Saddle River (NJ, USA): Prentice Hall, 2009. ISBN 9780136042594.
- SAMPAIO, Eliana, Stéphane MARIS a Paul BACH-Y-RITA, 2001. Brain plasticity: „Visual” acuity of blind persons via the tongue. *Brain Research* [online]. 2001, vol. 908, no. 2, s. 204–207 [vid. 11. červenec 2014]. ISSN 0006-8993. Dostupné ze ScienceDirect z (doi): [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-8993\(01\)02667-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-8993(01)02667-1)
- SARDAR, Ziauddin, 2001. *Thomas Kuhn a vědecké války*. 1. vyd. Praha: Triton, 2001. 80 s. ISBN 0-7254-209-5.
- SAVAGE, Neil, 2012. Game Changer. *Communications of the ACM* [online]. June 2012, vol. 55, no. 6, s. 22–23 [vid. 21. duben 2014]. ISSN 00010782. Dostupné z Ebsco: <https://search.ebscohost.com>
- SCHOFIELD, Jack, 2009. Let’s talk about sex ... with robots. *the Guardian* [online]. London: Telegraph Media Group, 16 September 2009 18.00 BST [vid. 8. prosinec 2013]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/technology/2009/sep/16/sex-robots-david-levy-loebner>
- SIEGEL, Judy, 2014. FDA approves Israel’s ReWalk device enabling paraplegics to walk. *Jerusalem Post* [online]. 30 June 2014 [vid. 18. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.jpost.com/Health-and-Science/FDA-approves-Israelis-ReWalk-device-enabling-paraplegics-to-walk-360975>
- SIMONITE, Tom, 2014a. Futurist Kurzweil Says He’s Building AI into Google Search. *MIT Technology Review* [online] Cambridge (MA, USA): Technology Review Inc., June 26, 2014 [vid. 28. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.technologyreview.com/news/528656/ray-kurzweil-says-hes-breathing-intelligence-into-google-search>
- SIMONITE, Tom, 2014b. China’s Baidu Hires Andrew Ng, Stanford Professor and Google’s Deep Learning Collaborator, for New Silicon Valley Artificial Intelligence Lab. *MIT Technology Review* [online]. Cambridge (MA, USA): Technology Review Inc., May 16, 2014 [vid. 8. červen 2014]. Dostupné z: <http://www.technologyreview.com/news/527301/chinese-search-giant-baidu-hires-man-behind-the-google-brain>
- SKLENÁK, Vilém, 2001. *Data, informace, znalosti a Internet*. 1. vyd. Praha: C.H. Beck, 2001. 507 s. ISBN 8071794090.

SONDAK, Norman, 1983. The Fifth Generation (Book). *Library Journal* [online]. 1983, vol. 108, no. 12, s. 1247 [vid. 5. června 2014]. ISSN 03630277.

Dostupné z Ebsco: <https://search.ebscohost.com>

SYCARA, Katia P., 1998. Multiagent systems. *AI magazine*. [online] Summer 1998, vol. 19, no. 2, s. 79. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1609/aimag.v19i2.1370>

ŠOLC, František a Luděk ŽALUD, 2002. *Robotika* [online]. 1. vyd. Brno: FEKT Vysoké technické učení v Brně, 2002 [vid. 5. leden 2014]. 61 s. Dostupné z:

http://matescb.skvorskmal.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf

SPENDLOVE, Tom, 2013. Athletic and Adapting Quadcopters. *ENGINEERING.com* [online] Mississauga: ENGINEERING.com, October 25, 2013 [vid. 20. červenec 2014].

Dostupné z:

<http://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/6542/Athletic-and-Adapting-Quadcopters.aspx>

TANKERSLEY, Jim, 2014. Ohio surgeons hope chip in man's brain lets him control paralyzed hand with thoughts. *The Washington Post* [online]. Washington (DC, USA): Washington Post Co, April 29, 2014 [vid. 5. červenec 2014]. Dostupné z:

http://www.washingtonpost.com/business/economy/ohio-surgeons-hope-chip-in-mans-brain-lets-him-control-paralyzed-hand-with-thoughts/2014/04/29/c45515e2-ccaf-11e3-a75e-463587891b57_story.html

TEAHAN, William, 2012. Bio-Inspired Artificial Intelligence. *Journal of Computer Science & Systems Biology* [online]. s. i –iii [vid. 10. prosinec 2013]. ISSN 0974-7230.

Dostupné z (doi): <http://dx.doi.org/10.4172/jcsb.1000e102>

THAGARD, Paul, 2012. Cognitive Science. In: Edward N. ZALTA, ed. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* [online]. Stanford (CA, USA): Center for the Study of Language and Information, Stanford University, Fall 2012 [vid. 10. prosinec 2013]. Dostupné z:

<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/cognitive-science/>

THINKING ALLOWED, 2011. John McCarthy (1927-2011): Artificial Intelligence (complete) - Thinking Allowed -Jeffrey Mishlove 2011 In: *Youtube* [online]. 3.11.2011 [vid. 15. prosinec 2013]. Kanál uživatele ThinkingAllowedTV. Dostupné také z:

http://www.youtube.com/watch?v=Ozipf13jRr4&feature=youtube_gdata_player

TKADLEC, Emil, 2007. *Strategie a metody vědecké práce* [online]. Olomouc, 2007 [vid.

5. červenec 2014]. Dostupné z: <http://home.czu.cz/webdav.php?seo=kopeckyo/ke-stazeni/&file=/Metody-vedecke-prace.pdf>

TOFTS, Darren, Annemarie JONSON a Alessio CAVALLARO, 2004. *Prefiguring Cyberculture: An Intellectual History*. Cambridge (MA, USA): MIT Press, 2004 [vid. 5. červenec 2014]. ISBN 9780262701082. 328 s. Dostupné částečně z:

http://books.google.cz/books?id=LNyvD79vNVEC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

TONDL, Ladislav, 1994. *Věda, technika a společnost: soudobé tendence a transformace vzájemných vazeb*. 1. vyd. Praha: Filosofia, 1994. 182 s. ISBN 80-7007-051-X.

TONDL, Ladislav, 2009. *Člověk ve světě techniky: Nové problémy filozofie techniky*. 1. vyd. Liberec, 2009. 197 s. ISBN 978-80-86807-64-5.

TRELEAVEN, P. C. a I. G. LIMA, 1982. Japan's Fifth Generation Computer Systems. *Computer* [online]. August 1982, vol. 15, no. 8, s. 79–88. [vid. 5. červenec 2014]. ISSN 0018-9162. Dostupné z: <http://red.cs.nott.ac.uk/~cah/G53OPS/reading/fg001.pdf>

VELIK, Rosemarie, 2010. Quo vadis, Intelligent Machine? *Brain. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience* [online]. Autumn 2010, vol. 1, no. 4, s. 13–22. [vid. 5. červenec 2014]. ISSN 2067-3957. Dostupné z: <http://brain.edusoft.ro/index.php/brain/article/view/126/259>

VESELÝ, Arnošt, 2005. *Úvod do umělé inteligence*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 222 s. ISBN 80-213-1361-7.

VOKURKA, Martin a Jan HUGO, 2008. Mozková kúra. *Velký lékařský slovník On-Line* [online]. Praha: Maxdorf, 2008 [vid. 30. červen 2014]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/mozkova-kura>

VOLNÁ, Eva, 2013. *Problematika číselných systémů* [online]. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, 2013 [vid. 10. listopad 2013]. 138 s. ISBN 978-80-7464-330-9 Dostupné z: http://www1.osu.cz/~volna/Umela_inteligence_skripta.pdf

VOLNÁ, Eva a Martin KOTYRBA, 2013. *Umělá inteligence* [online]. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, 2013 [vid. 5. červenec 2014]. 130 s. Dostupné z: http://projekty.osu.cz/svp/opory/PrF_Volna,Kotyrba_Umela-intelig.pdf

XUEDONG HUANG, James BAKER a Raj REDDY, 2014. A Historical Perspective of Speech Recognition. *Communications of the ACM* [online]. January 2014, vol. 57, no. 1, s. 94–103 [vid. 3. červen 2014]. ISSN 00010782. Dostupné z Ebsco: (doi): <http://dx.doi.org/10.1145/2500887>

ZELINKA, Ivan, 1998. *Umělá inteligence. Část 1, Neuronové sítě a genetické algoritmy*. 1. vyd. Brno: Vys. uč. techn.: VUTIU, 1998. 126 s. ISBN 8021411635.

ZELINKA, Ivan, 2003. *Umělá inteligence - hrozba nebo naděje?* 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 142 s. ISBN 80-7300-068-7.

ZČU KATEDRA KYBERNETIKY, © 2014. *Definice kybernetiky v průběhu století* [online] Praha: Katedra kybernetiky ZČU, © 2014 [vid. 9. leden 2014]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/cs/definition-of-cybernetics>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Hype křivka technologického vývoje.....	37
Obrázek 2 Ideální zobrazení tváře a kočky pro detekování pomocí hloubkového učení	82

SEZNAM ZKRATEK:

ALPAC	<i>Automatic Language Processing Advisory Committee</i> Poradní komise pro automatické zpracování jazyka
ARPA	<i>Advanced Research Projects Agency</i> Agentura pro výzkum pokročilých projektů
CSAIL	<i>Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory</i> Laboratoř počítačové vědy a umělé inteligence
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i> Agentura pro výzkum pokročilých obranných projektů
EPFL	<i>École polytechnique fédérale de Lausanne</i> Švýcarský federální technologický institut v Lausanne
ESPRIT	<i>European Strategic Program on Research in Information Technology</i> Evropský strategický program pro výzkum a vývoj informačních technologií
GOF AI	<i>good old fashioned artificial intelligence</i> stará dobrá umělá inteligence
IKBS	Intelligent Knowledge-Based Systems systémy založené na znalostech
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> Massachusettský technologický institut
ONR	<i>Office of Naval Research</i> Úřad pro námořní výzkum
PDP	<i>parallel distributed processing</i> paralelní distribuované zpracování
SAIL	<i>Stanford Artificial Intelligence Laboratory</i> Stanfordova laboratoř umělé inteligence
SRI	<i>Stanford Research Institute</i> Stanfordův výzkumný institut